آوای زنبوران عسل

(بیولوژی زنبور عسل)



یورگن تاتس

ترجمه:
دکتر محمد باقر فرشینه عدل
(عضو هیات علمی موسسه تحقیقات علوم دامی)
دکتر محمد ملکان
دکتر حامد حسنی ولاسجردی

آوای زنبوران عسل

(بیولوژی زنبور عسل)

یورگن تاتس

با عکس برداری هلگا آر. هیلمن

ترجمه شده توسط دیوید سی. سندمن

مترجمان

دکتر محمد باقر فرشینه عدل

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات علوم دامی کشور

دکتر محمد ملکان

دکتر حامد حسنی ولاسجردی

ویراستار

دکتر رسول بحرینی نوبندگانی

سرشناسه : تاتس، یورگن، Tautz, Jurgen
عنوان و نام پدیدآورنده : آوای زنبورها / اثر یورگن تاتز؛ ترجمه محمدباقر فرشینه عدل
مشخصات نشر : تهران : انتخاب، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری : ۲۳۲ ص.
شابک : 978-964-2779-38-3
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
یادداشت : عنوان اصلی : Phanomen Honigbiene
یادداشت : کتاب حاضر از متن انگلیسی تحت عنوان زیر به فارسی برگردانده شده است
The buzz about bees: biology of a superorganims
موضوع : زنبور عسل
شناسه افزوده : فرشینه عدل، محمدباقر، ۱۳۳۹- ، مترجم
رده‌بندی کنگره : ۱۳۸۹ ۲ ت ۹ ز / QL۵۶۸
رده‌بندی دیویی : ۵۹۵/۷۹۹
شماره کتابخانه ملی : ۲۰۶۲۱۳۲



نشر انتخاب

ناشر دانشگاهی و عمومی

خیابان ۱۲ فروردین، خیابان شهدای ژاندارمری، شماره ۱۲۶، طبقه چهارم

آوای زنبوران عسل

یورگن تاتس

ویراستار **رسول بحرینی نوبندگانی**
حروف‌نگاری **شهرام فرجی**
لیتوگرافی **هنر گرافیک**
چاپخانه **نقش ایران**
صحافی **پژمان**
چاپ اول **۱۳۸۹**
شمارگان **۳۰۰۰ جلد**

تقدیم به مارتین لیندار

استاد گرانقدر گروه زنبور دانشگاه ورزبرگ

مطمئناً کلنی زنبور عسل حاوی یکی از شگفت انگیزترین رموز طبیعت در سازماندهی انرژی و مواد می‌باشد.

نویسنده

یورگن تاتس استاد انستیتو فیزیولوژی رفتاری و بیولوژی اجتماعی، دانشگاه ورزبورگ و رئیس گروه زنبور می‌باشد. او و همکارانش دو هدف اصلی دارند: انجام تحقیقات پایه ای برروی بیولوژی زنبور عسل و مبادله اطلاعات زنبورعسل در سطح وسیع . در طی ۱۵ سال گذشته ، یورگن تاتس کشفیات مهمی را انجام داده که تغییرات زیادی را در دید ما نسبت به بیولوژی زنبور عسل ایجاد کرده است. مقالات چاپ شده او در ژورنال های با سطح بالای علمی همانند خلاصه مقالات آکادمی بین اللملی ایالات متحده آمریکا در زمینه علم و طبیعت سبب شده تا بیش از پنج بار رتبه عالی را در بیولوژی کسب کند. با این وجود این توانایی آموزشی اوست که او را به این فراز بالا رسانده است . او قادر است اغلب اصول پیچیده را برای همه قابل درک نماید ، سخنرانی های دانشگاهی او که توسط دانشجویان پس از مدتی طولانی از تحصیلشان هنوز یادآوری می‌شود و سخنرانی های عمومی او ، همیشه با تعداد زیادی شنوندگان مشتاق همراه بوده است. نوشته ها و سخنرانی های عمومی او در مورد بیولوژی موجودات زنده، دو مرتبه در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ توسط سازمان بیولوژی ملکولی اروپا (EMBO) ، مورد تشویق قرار گرفته است. او به عنوان یکی از بهترین مکاتب علمی در اروپا انتخاب شده بود.

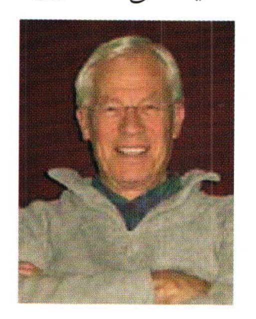
یک استعداد ارتباطی و رهبری علمی سبب شده تا یورگن تاتس مشارکت زیادی را با Carl Sagan , Richard P. Feynman , Konrad Lorenz , Vince Dethier و دیگر افراد مشهوردر قابل درک نمودن و دسترسی مطالب علمی برای همگان همکاری داشته است.





عکاس

هلگا آر. هیلمن عکاسی است که با گروه تحقیقات بنیادین بر روی زنبور دانشگاه ورز برگ فعالیت می کند. وی همچنین مسئول ر روابط عمومی گروه زنبورعسل است.



مترجم به زبان انگلیسی

دیوید سی سندمن یک نوروبیولوژیست مقایسه‌ای بوده که شاخه اصلی کارش درآناتومی و فیزیولوژی سیستمهای کنترلی عصبی و رفتارهای رفلکسی و جبرانی در حشرات و سخت پوستان می‌باشد. وی مدارج اولیه را در دانشگاه ناتال آفریقای جنوبی اخذ نمود و سپس مدرک دکترا از دانشگاه سنت اندروز اسکاتلند اخذ و بدنبال آن دوره فوق دکترا را در دانشگاه کالفرنیا، لوس آنجلس گذرانیده است. او سپس برای تدریس جانو شناسی به دانشگاه سنت اندروز اسکاتلند بازگشت . چهار سال بعد وی برای اخذ فلوشیپی از دانشکده تحقیقات علوم بیولوژیک به کانبرا استرالیا عزیمت نمود . در ۱۹۸۲ به مدیریت گروه جانورشناسی دانشگاه نیو ساوت ولز سیدنی استرالیا منصوب شد. همکاری او با یورگن تائوتز در طول این زمان منجر به بدست آوردن اطلاعات پایه ای در ارتباط با لرزش شانها که در این کتاب آمده است ،شد. پس از بازنشستگی از سیدنی در سال ۲۰۰۲ به آلمان مهاجرت کرده و به تحققات علمیش ادامه داد و اکنون محقق ممتاز کالج ولس لی آمریکا و عضوی از تیم تحقیق کننده در مورد نرون‌های مغز سخت پوستان بالغ است . او مقیم لاوباخ آلمان بوده دو دختر، یکی در استرالیا و یکی در امریکا و شش نوه دارد.

پیشگفتار ویراستارانگلیسی

کتاب حاضر تاکنون به ده زبان ترجمه شده است و در نگـاه اول بنظـر مـی رسـد کـه تنهـا مربوط به زنبورهای عسل و بیولوژی آنها می باشد.این کتاب شـامل شـماری از اصـول پایـه و مهم بیولوژی مدرن و پیامهای عمیقی از آن است. زنبورها منحصرا بازیگرانی هستند که ما را به قلمرو فیزیولوژی ، ژنتیک ، تولید مثل ، بیوفیزیک و دانشی در ارتباط با نحوه انتخـاب در طـی فرآیند تکاملی می برند. این کتاب تصویر زیبای زنبوران عسـل را بـه عنـوان افـرادی فـداکار و دارای شباهت‌هایی با انسان مخدوش نموده و ما را با وا قعیت‌های کلنی زنبورها به عنوان یـک مجتمع مستقل _ یک سوپرارگانیسم و آینده نگر و باهوش آشنا میسازد. برای ما بسـیار جالـب خواهد بود که بدانیم نمی‌توان از هیچ یک از ازاعضـا یـک کلنـی زنبورعسـل اعـم از ملکـه ، زنبوران نر و حتی کارگران عقیم بچشـم پوشـی نمـود زیـرا آنـان بـه تنهـایی قـادر بـه کنتـرل فعالیت‌های کلنی نمی‌باشند. در این میان کلنـی بـا اسـتفاده از شبکه‌ای از سیسـتمهای کنتـرل گروهی و بازتاب‌ها و ارتباطات بین اعضا می‌تواند تصمیمات دسته جمعـی مناسـبی بگیـرد. بـه راستی ارتباط قابل توجهی بین سازماندهی کاربردی در بچه دهی کلنی زنبـور و هـوش مهـره داران وجود دارد.

آوای زنبوران عسل (عنوان کتاب) برای خیلی از افراد ذیـل مناسـب خواهـد بـود : تـاریخ نگاران طبیعی که از تصاویر بدیع لذت میبرند، دانشجویانی مرتبط با بیولوژی ، با مطالعـه ایـن کتاب به اصول پایه علم بیولوژی دست یافته و طعم ناچیزی از جذبـه و پیچیـدگی سیسـتمهای بیولوژیک را خواهند چشید. در اینجا پرورش دهندگان زنبور عسل با اصول پایـه و بسـیاری از رفتارها که قبلاً با آن آشنایی داشته‌اند .و اطلاعات علمی دست خواهند یافت که می‌تواند برخی از باورهای سنتی آنها را تحت تأثیر قرار دهد. اساتید خواهند توانست مطالـب سـهل الفهـم و توضیحات پایه ای از بیولوژی کاربردی را در این کتاب یافته و از آن بعنوان مثالی بـرای درک بیشتر نحوه همکاری دانشمندان مختلف در جهت دست یابی به پیچیدگیهای بیولـوژی اسـتفاده نمایند. بیولوژیستهای حرفه‌ای از بیان مجدد اصول تکاملی ، معرفی زنبـور عسـل بعنـوان یـک سوپرارگانیسم و نتایج انتخاب طبیعـی و انتخـاب خویشـاوندی در چنـین سیسـتم‌هـایی لـذت خواهند برد . آنان هنوز تشویق به بحث شده و ممکن است در باب مجموعـه هـای انطبـاقی و خصوصیات موجودات خود تعامل نمایند.

ما همگی بطور فزاینده ایی در مورد تغییرات آب و هوایی که در جهان ما روی می دهد نگران هستیم . تغییرات آب و هوایی ما را مطلع می سازد که چه موجودی در لبه خطر زندگی می‌کند. آنان با محیط های زندگی بسیار ویژه ای سازگار شده اند و لذا حتی کوچکترین تغییر محیطی در مدت نسبتا کوتاهی پایان زندگی آنان را رقم خواهد زد. عدم توانایی در تولید نسل کافی در این زمان و با تنوع ژنتیکی کم موجبات مرگ و انقراض و ثبت جاودانی آنان در لیست جهان فسیل‌ها را بدنبال دارد.ممکن است تصور شود که موجوداتی مثل انسان و زنبوران عسل می توانند با اعمال کنترلهایی بر محیط زندگی خود مزیت‌هایی را برای خود فراهم سازند. قابلیت تحرک بالا آنها را قادر میسازد که به محلهایی که با آسایش بیشتر سفر نماییم و مکان‌هایی که راحت نیستند هم با ساخت چهار دیواری تحت کنترل خود درآورند. این واقعیتی دلگرم کننده است اما متاسفانه بسیار ساده انگارانه و منحرف کننده می‌باشد زیرا ما با شبکه وسیعی از زندگی خود و آنچه به آنها وابسته ایم روبرو می باشیم و بزرگترین تهدید جهل و نادانی با رفتارهای پر زرق و برق ما با طبیعت است. بهره برداری و استثمار ما از سیستمهای طبیعی بدون دانستن آنها و دانستن جزئیاتی در مورد آسیب پذیریشان تعادل مناسبی که در طول هزاران سال بوجود آمده را بهم زده است. هم اکنون تنها راه باقیمانده تاسیس یک تعادل طبیعی است که همیشه مزیتی نیز در بر ندارد. زنبوران عسل برای ما مهم هستند. نبود زنبوران عسل مساوی است با نبود گرده افشانی بسیاری از محصولات زراعی ما و بهمین سادگی نبود گرده افشانی یعنی نبود میوه و دانه. اگر زنبوران عسل در مشکل افتاده باشند ، انگار ما در مشکل افتاده ایم . ما می بایست تمام تلاش خود را برای فهم آنها بکار بریم و از این رهگذر احترام بیشتری برای پیچیدگی عظیم طبیعت قائل شویم .این کتاب جای خوبی برای شروع است .

ورزبرگ و لوباخ ژانویه ۲۰۰۸
یورگن تاتس ، دیوید سی سندمن



مقدمه ویراستار آلمانی

زنبور ان عسل از زمانی که تاریخ ثبت شده است ، و احتمالا بسیار طولانی تر ، انسان ها را مجذوب خود کرده اند . زنبوران به خاطر عسل و موم شان به عنوان محصولات طبیعی از مدت ها پیش مورد اهمیت قرار گرفته اند . زندگی هزاران زنبور به صورت منظم در کلنی ها و بکارگیری از ظریفترین نکات دانش هندسه در ساخت شان‌های عسل باعث فریفته شدن چشم ها می شود . برای انسان های امروزی ، زنبور تنها به عنوان یک همکار در کشاورزی مطرح نبوده ،بلکه همچنین به عنوان نشانه ای از وضعیت طبیعت و شاهدی بر ارتباط کامل انسان و طبیعت است.

زنبورهای عسل در مسیر زمان بعنوان مظهری از حقیقتی روشن، همچون هم آهنگی ،سخت کوشی و از خود گذشتگی می باشند . تحقیقات جدید واقعیت‌هایی را نشان داده است که ما را از برخی جزئیات افسانه‌ای مربوط به طبیعت زنبورعسل دور می‌سازد، اما در کل ما با بینشی عمیق در زندگی زنبورعسل در می‌یا بیم که یکی از شگفت انگیزترین زندگی هاست.

از اهداف این کتاب ارائه برخی از شگفتی‌های زنبور عسل و نیز همراه نمودن اطلاعات جدید با دانش موجود است. باید این موضوع را روشن ساخت که هنوز ما راه طولانی را جهت شناخت آن چه که در رابطه با زنبور عسل وجود دارد ، در پیش داریم و می‌بایست هنوز کشفیات مهیج بسیاری صورت پذیرند .

یک موضوع غالب که در تمام این کتاب مطرح می‌باشداین است که بخشی از صفات کلنی‌های زنبورعسل با موجودات پیشرفته ای همچون پستانداران مشترک می باشند . ولی این صفات با زندگی‌های موجودات تک سلولی ترکیب شده اند بدین منوال کلنی های زنبور به استراتژیهای حیاتی از هردو موجودات تک سلولی و پرسلولی دست یافته‌اند از اینرو مکانی خاص را در زندگی اشغال کرده اند.

تصاویر اغلب بیشتر از توصیفات نوشتاری طولانی ، خصوصا در علوم زیستی با ما سخن می‌گویند . به همین دلیل ما در آغاز این پروژه تصمیم به طراحی کتابی با یک تکیه قوی بر تناوب میان تصاویر و متن گرفتیم .

ما به عمد و با کمی استثنا از اشاره به منابع مقالات علمی ، نویسنده ها و محققین اجتناب نمودیم . در عوض ما وب سایتی (http//:www.beegroup.de) ضمیمه را برای

خوانندگان علاقه‌مند آماده نمودیم که شامل نکات مهم اضافی و مطالب اسای برا ی هـر فصـل می‌باشد. در این وب سایت منابعی از مقالات، پیوندهای اینترنتی، عکس ها ، ویدئو کلیپ هـا ، فایل های صوتی یا موارد مشابه ارائه شده است. ما این وب سایت را بطور متناوب و منظم بـه روز خواهیم نمود تا وضعیت هنری موجود در این کتاب بصورت مرتب حفظ شود .

زنبور عسل برای ما « تجلی» با پدیده‌ای (phenomenon) از حـس پـاکی اسـت . منشـا لغت پدیده αινόμενο (fenomeno) یونانی است وبه معنی چیزی اسـت کـه خـود را نمـایش دهد . ما معتقدیم که این اصطلاحی کامل برای توصـیف صـفات اختصاصـی سـوپرارگانیزم‌هـا است. که تظاهر مکرر ویژگـی‌هـای نمایشـی اش (phenomenon) از خصوصـیات آن اسـت. قدم‌های ما به سمت پرده برداشتن از واقعیات این سوپرارگانیزم بسیار اندک است. امـا مـا تنهـا چیزی را که می‌توانیم از مطالعه زنبور عسل بیاموزیم، پاداشی است که بـه بهـای تـلاش‌هـایش بدست می‌آورد .

اغلب ما می‌توانیم به زندگی پنهان زنبور عسل نفوذ کنیم . شگفت انگیـز تـرین و عمیـق ترین آرزوی ما ، اکتشاف این دنیای شـگفت انگیـز اسـت. Karl Von Frisch ، مشـهورترین محقق زنبور عسل ، نظریه کاملی را بیان میکند که: « کلنی زنبور عسل همانند یک جادوی کامل است ; برداشت بیش از یکی از آن ، جریان آن را قوی تر میکند » .

اگر ، پس از مطالعه این کتاب، مطالعه کنندگان زنبور عسلی را کـه از مقابلشـان میگـذرد برای زمان کمی طولانی تراز همیشه مشاهده نمودند ، و شاید یکی یـا دیگـر نمـود هـای قابـل توجه از زندگی آن را به یاد آوردند ،آنگاه است که ما به چیز زیادی دست یافته‌ایم.

ما از اعضای گروه زنبور در Würzburg و تیمـی از Elsevier/ spectrum Akademischer Verlag برای حمایت شان در طول آماده سازی وچاپ این کتاب سپاسگزار می‌باشیم .

یورگن تاتس و هلگا آر. هیلمن
نوامبر ۲۰۰۶، ودزبورگ



مقدمه مترجمان به زبان فارسی

وجود پیچیدگی های فراوان در دنیای شگفت انگیز زنبور عسل و تعدد انگیزه های مثبت و مفید در پرورش و نگهداری این حشره سبب گردیده تا محققین و دانشمندان با شتاب فزاینده ای در پی پرده برداشتن از اسرار گو ناگونی از زندگی آنان باشند.از طرفی بدلیل اجتماعی بودن زندگی این حشره می توان به اهمیت تقسیم کار بسیارپیشرفته ودقیق در فعالیتهای روزانه آنان نیز پی برد. با توجه به این ویژگیها ضرورت شناخت بیشتر نکات فنی و تخصصی مبتنی بر اصول علمی در صنعت زنبورداری مدرن افزایش می یابد و متخصصین را وادار می سازد تا با جمع آوری اطلاعات بیشتر در زمینه های گوناگون بالاخص خصوصیات رفتاری و نیز اثرات متقابل زنبوران عسل با یکدیگر مطالعات و بررسیهای بیشتری داشته باشند.

-کتاب حاضر به عنوان یکی از غنی ترین آثار علمی در زمینه بیولوژی و رفتار شناسی زنبور عسل برای کلیه علاقمندان بالاخص اساتید و محققین ،دانشجویان و زنبورداران عزیز قابل دسترس می باشد. مولف این اثر اهتمام خاصی در شناسایی و معرفی نکات ظریف و مهم در مبحث بیولوژی زنبور عسل داشته است. یکی دیگر از بارزترین ویژگیهای کتاب این است که مولف از یک گروه متخصص عکسبرداری در تهیه تصاویر استفاده نموده است. اهمیت و توجه ویژه مولف در بکارگیری موثر از تصاویر گوناگون که از کیفیت عالی نیز برخوردار می باشند درک آسانتر وسریع مطالب را به همراه خواهد داشت.

یکی از مهمترین اهداف ترجمه این کتاب به زبان فارسی به دلیل اهمیت محتوای کتاب بوده است. امید است مطالعه این اثر بتواند در ارتقاء دانش زنبورداری خوانندگان نقش مثبتی داشته باشد .

در خاتمه ضمن پوزش از کلیه خوانندگان بزرگوار بدلیل وجود خطاهای احتمالی در ترجمه، تایپ و یا موارد دیگر خواستار انعکاس این نکات جهت رفع و ملحوظ نمودن در چاپ‌های بعدی می‌باشد.



» فهرست



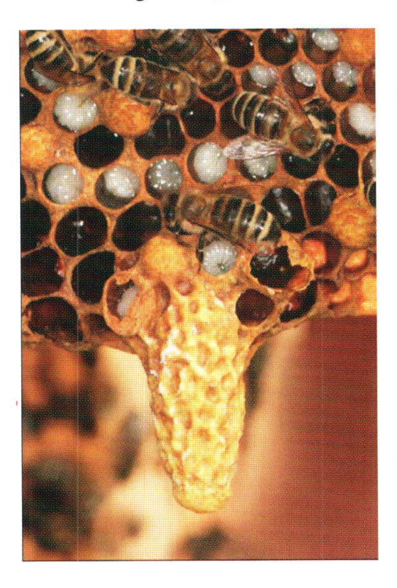
مقدمه

کلنی زنبور – پستانداری در بدن‌های متعدد

خصوصیاتی که منجر به برتری پستانداران می‌شود، را می توان بصورت مجموعه مشابه کوچکتر در کلنیهای زنبور به عنوان یک سوپر ارگانیسم (حشره اجتماعی عالی) یافت.

در این واقعیت هیچ شکی وجود ندارد که بر طبق همه معیارهای معمول ، زنبورها جزء حشرات می باشند. از سی میلیون سال پیش تا به امروز خصوصیات ظاهری آنها اینگونه (بدین سان) بوده است. با این وجود، در قرن نوزدهم، جان مرینگ (۱۸۷۸-۱۸۱۵) نجار و زنبوردار، براساس شباهتهای جالب توجهی که مشاهده نمود، برخی از ویژگی مهره داران را به زنبور نسبت داد. بر اساس گفته های مرینگ، کلنی زنبور بصورت یک موجود واحد معادل یک جانور مهره دار می‌باشد. در حالی که ملکه و زنبوران نر نقش اندامهای تناسلی نر و ماده را ایفا می‌کنند، زنبوران کارگر نقش اندامهای بدن که برای تغذیه و ادامه حیات ضروری هستند را ایفا می کنند.

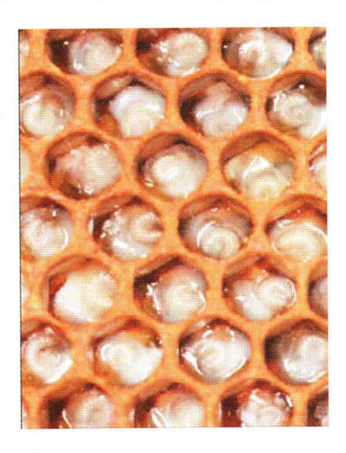
مفهوم برابر دانستن یک کلنی کامل زنبور با یک حیوان منجر به وجود آمدن کلمه bien می شود که اشاره به نقش هر فرد در اداره آن دارد. کلنی زنبوران عسل یک تشکل سازمان یافته است که درآن هر عضو نقش مشخصی را بر عهده دارد.یک زیست شناس آمریکایی بنام ویلیام مورتون ویلر (۱۹۳۷- ۱۸۶۵) بر اساس کار بر روی مورچه ها به خاطر وضع خاص زندگی آنها ، در سال ۱۹۱۱ کلمه" سوپر ارگانیسم" را ابداع نمود. در اینجا می‌خواهیم با یک نگاه اساسی و زیرکانه به باورهای زنبورداران قدیمی در ارتباط با کلنی زنبوران عسل ، این نکته را مطرح کنیم که کلنی زنبوران عسل نه تنها معادل مهره داران بوده است بلکه به دلیل دارا بودن بسیاری از ویژگیهای پستانداران در واقع شبیه به آنها می‌باشد. این حقیقت احتمالا باور نکردنی به نظر می رسد اما اگر روی تکامل نژادی زنبوران عسل و شرایط و یژگیهای عملکردی که باعث آخرین تکاملهای مهره داران و برتری پستانداران شده است، دقت کنیم دیگر اینگونه به نظر نمی‌رسد .



تصویر P.1: کلنی‌های زنبور سالانه فقط تعداد کمی ملکه تولید می‌کنند. ملکه های جدید در سلولهای ویژه شان که شاخون نام دارد، پرورش می‌یابند.

بر اساس مجموعه‌ایی از خصوصیات و معیارهای آشکار پستانداران از دیگر مهره داران متمایز شده و می‌توان آنها را مستقیماً با زنبوران عسل مقایسه نمود:

- پستانداران سرعت تولید مثل بسیار پایینی دارند - زنبوران عسل نیز اینگونه میباشند.(تصویر P.1)
- پستانداران ماده توسط غدد ویژه ای برای نوزادان خود غذا (شیر) تولید می‌کنند - زنبوران عسل ماده نیز توسط غدد ویژه‌ای برای نوزادان خود غذا (ژله شاهانه) تولید می‌کنند.(تصویر P.2)
- رحم پستانداران محیط کاملاً کنترل و محافظت شده ایی در اختیار جنین در حال رشد قرار میدهد و نیازمند کنترل متغیرهای جهان خارج نیست - زنبوران عسل نیز برای رشد نوزادانشان محیط محافظت شده‌ایی بنام " رحم اجتماعی" بر روی شان های کندو فراهم می‌کنند. (تصویر P.3)
- پستانداران دمای بدن خود را حدود $36^{\circ}c$ نگه میدارند - زنبوران عسل دمای قاب های دارای نوزاد را در حدود $35^{\circ}c$ نگه می دارد.(تصویر P.4)
- پستانداران با مغز بزرگ دارای بالاترین قدرت ادراک و یادگیری در بین تمام مهره داران هستند- زنبوران عسل دارای چنان پتانسیل بالای یادگیری و قدرت ادراکی هستند که می‌توانند برخی از مهره داران را تحت‌الشعاع قابلیتهای خود قرار دهند. (تصویرp.5)



تصویر P.2: لاروهای زنبور در بهشت زندگی می‌کنند. آنها در ژله مغذی که توسط زنبورهای پرستار فراهم می‌شود، شناور هستند.

توجه به این نکته که خصوصیات اساسی و تکاملی پستانداران در کلنی های زنبور عسل نیز یافت می‌شوند بسیار مورد علاقه زیست شناسان می‌باشد.

مفهوم کلنیهای زنبورعسل به عنوان "پستانداران افتخاری" و یا به عبارت بهتر به عنوان گروهی که استراتژیهای تکاملی مثل پستانداران دارند، این حقیقت را یادآور می‌شود که قطعاً این شباهتها چیزی فراتر از خصوصیات پستانداران می‌باشد.

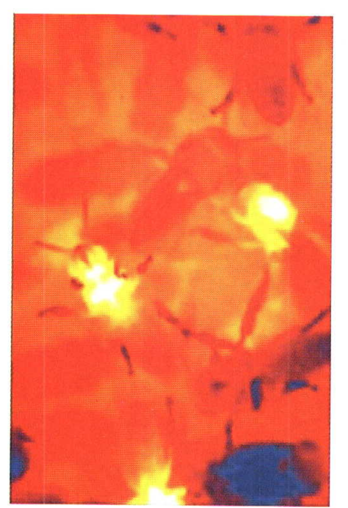
به منظور کسب اطلاعات بیشتر در ارتباط با این پدیده(به طور مثال برای درک بهتراین شباهتهای ساده و اعجاب انگیز)، طرح این پرسش که چرا این خصوصیات تقسیم بندی شده است ، بسیارضروری می باشد. برای اینگونه ارزیابی کردن معتقدیم که یافتن مشکلات اساسی که همه حیوانات راه حل مشابهی برای آن پیدا می کنند ، بسیار کمک کننده خواهد بود.



تصویر P.3: وضعیت آب و هوایی آشیانه توسط زنبورهای بالغ کنترل می‌شود.

گروهی از موجودات زنده که گامهای رو به جلویی را از نظر تکاملی بر می‌دارند، می‌توانند دارای برتریهایی نسبت به رقبای خود باشند. این برتریها بستگی مستقیمی به میزان وابستگی آنها به شرایط محیطی مختلف دارد. فاکتورهای محیطی متغیر و غیر قابل پیش بینی هستند. بی تردید این حقیقت ویژگی مختلفی در جمعیت را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و هر کدام از این ویژگی‌ها ارزشهایی است که موفقیتهای تولیدمثلی را در جمعیت تعیین می‌کنند. موجودات زنده‌ایی که بتوانند خود را بهتر و بیشتر تطبیق دهند، پیشرفت می‌کنند و شکوفا می‌شوند و آنهایی که کمتر سازش پیدا می‌کنند نابود می‌شوند. این مسئله یاد شده، نکته اصلی تئوری سیر تکاملی داروین است.

از آنجاییکه شدت و نحوه تغییرات محیطی غیر قابل پیش بینی هستند، موجودات می‌بایست راهکارهای حساب شده ایی از جمله تولید حداکثر ممکن نوزادان را اتخاذ نموده تا بتوانند آمادگی لازم را برای مقابله با اتفاقات مختلف آینده داشته باشند. از ویژگیهایی که در طول مسیر تکاملی باعث تولید فرزندان کمتر میشود ، سازگار شدن یا تحت کنترل درآوردن پارامترهای محیطی مهم است که بموجب آن کمتر تحت تأثیر تغییرات محیطی که بر آنها تحمیل می‌شوند قرار می‌گیرند. پستانداران و زنبورهای عسل هر دو متعلق به این دسته از موجودات می‌باشند.ص۲۲

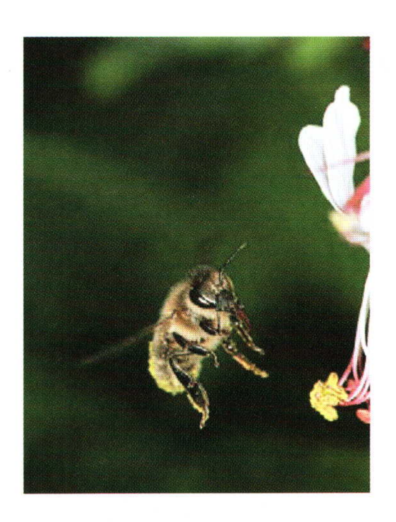


تصویر P.4: زنبورهای گرم کننده، دمای شفیره ها را در شرایط ایده آل نگه می‌دارند که این شرایط تنها یک درجه با دمای پستانداران متفاوت است.

استقلال از منابع بی ثبات انرژی ، تولید مواد مغذی با کیفیتهای متفاوت توسط خود زنبوران عسل، محافظت در برابر دشمنان از طریق ساختن سلولهای پوشیده و محفوظ و نیز استقلال از

تأثیرات آب و هوایی از طریق کنترل آب و هوای محل سکونت همگی ویژگی‌هایی هستند که در دسترس موجودات پست تر نمی‌باشند.

تمام خصوصیات بارز پستانداران که حیات آنان را تضمین می‌نماید، به همان خوبی در زنبوران عسل نیز حضور داشته و باعث عدم وابستگی زیاد به شرایط متداول محیطی می شوند. این حقیقت بواسطه حضور یک سازمان پیچیده اجتماعی و رفتاری حاصل میشود که آنان را به استفاده کارآمد از منابع انرژی و مواد اولیه در دسترسشان قادر می‌سازد (فصل ۱۰). میزان تولید مثل پایین نیز از پی‌آمدهای کنترل حداکثری شرایط زندگی می‌باشد. موجودات با میزان تولید مثل پایین که رقابت در آنها زیاد است بر اساس امکانات محل سکونتشان دارای جمعیتهایی با بزرگی ثابت هستند. این موجودات بر اساس تعدا کم فرزندان می‌بایست در سازگاری با محیط به شدت با مشکل مواجه شوند ولی آنها بواسطه ساختن بخشی از محیطی که در آن زندگی می‌کنند به عنوان جایگاه ویژه خود می‌توانند پارامترهای خطرناک محیطی را تحت کنترل در آورده و بقای خود را در شرایط دشوار تضمین نمایند.



تصویرP.5: زنبورها به سرعت یاد می گیرند که کدام گلها شهد داشته و چگونه می‌توان حداکثر آن را برداشت نمود.

زنبوران عسل گامی فراتر از کنترل شرایط محیطی گذاردتد و کلنی آنها دارای چنان شرایط اپتیممی بوده که بالقوه فناناپذیر می‌باشند. کلنی های زنبور عسل راهی را برای اصلاح مداوم الگوی ژنتیکی خود یافته اند مانند genomic chameleon که باعث عدم توقف سیر تکاملی آنها میگردد(اصطلاحاً به مرگ تکاملی دچار نمیشوند.).

در کل کنترل شرایط بواسطه عکس‌العملهای مناسب از ویژگیهای موجودات زنده است. هر موجود زنده محیط داخلی خود را به دقت کنترل کرده و بر اساس آن، جریان انرژی و

همچنین تبادل اطلاعات و مواد مورد نیاز به را در سطح حداکثری خود تنظیم می‌کند. دمای بدن نتیجه دریافت و مصرف انرژی بوده در صورتیکه توده بدنی نتیجه تعادل بین دریافت و خروج مواد می‌باشد.

W.B.Canon در سال ۱۹۳۹ در کتاب خود تحت عنوان " دانش بدن" به منظور شرح این سیستم تنظیمی بدن کلمه "هموستاز" را ابداع نمود. فیزیولوژی یک قلمرویی از زیست شناسی است که به تحقیق و بررسی در رابطه با اینگونه فرآیندهای منظم در موجودات زنده می‌پردازد. بررسی و جستجو در مورد شرایط کنترل شده در کلنیهای زنبورعسل به عنوان یک سوپراورگانیسم نشانگر این حقیقت است که تمام پارامترهای کنترل شده ای که نهایتا موجب هموستاز کلنی می شوند ، توسط زنبوران عسل و بواسطه فعالیت آنها رخ می دهد (فصول ۶، ۸، ۱۰).

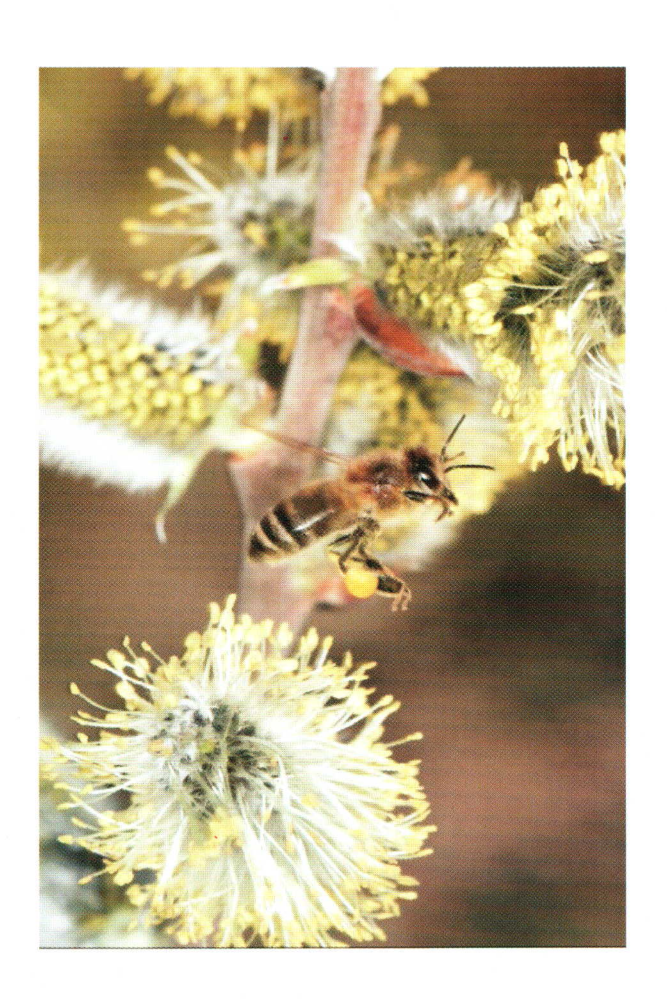
فیزیولوژی پستانداران و فیزیولوژی اجتماعی زنبورهای عسل به طور قابل توجهی معنای یکسانی دارند. روشهای گوناگون زندگی که در گروههای مختلف موجودات زنده شکل گرفته است، در بسیاری از موارد قابل مقایسه و یا مشابه می‌باشند. به عنوان مثال بال پرندگان و حشرات نمونه‌ای از این شباهت است. در واقع مشکل اصلی که باعث بوجود آمدن بالها شده "تردد از طریق آسمان" می‌باشد.

خصوصیات گوناگونی که میان پستانداران و زنبورهای عسل وجود دارد ما را به سمت این پرسش راهنمایی می‌کند که چه مشکلاتی می بایست با این استراتژیهای مشترک حل گردند؟ این نکته کاملاً واضح است که تمامی این خصوصیات موجب سطحی از عدم وابستگی پستانداران و زنبورهای عسل به محیط پیرامون میشود که به سختی توسط سایر گروههای موجودات زنده قابل دست یافتن است. البته این استقلال شامل تمام زندگی یک فرد نبوده و مرحله آسیب پذیری نیز بخشی از سیکل زندگی یک موجود را تشکیل می‌دهد(فصل ۳).

کلنیهای زنبورعسل تمام استراتژیهایی قابل توجه پستانداران را به خدمت گرفتند تا نسلهایی را در شرایط بسیار خوب و تحت محافظت دقیق بوجود آورده و به جهان خارج بفرستند. در پایان زنبوران عسل قابلیت و رفتارهای ویژه ای دارند که در جهان موجودات بسیار حیرت‌آور می‌باشد. ما فقط در ابتدای شناخت این فرشینه(بافته) بسیار پیچیده قرار داریم.

راهنمای تصویری کوچک‌ترین حیوانات اهلی

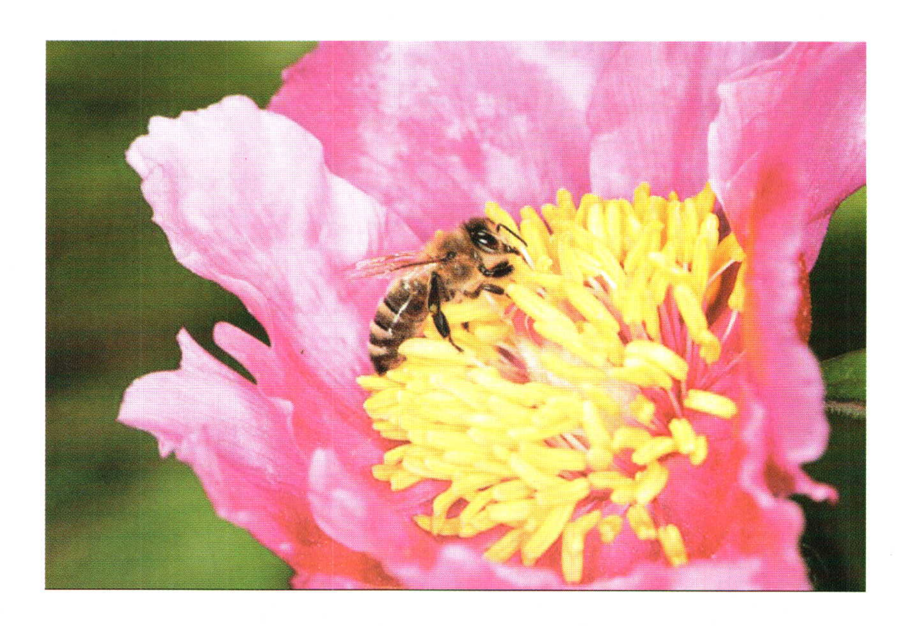
زنبورهای عسل نه تنها یکی از مدلهای تکاملی موفق هستند، بلکه فعالیت گرده افشانی آنها اهمیت اقتصادی قابل توجهی برای انسانها دارد.



... دارای نام علمی *Apis mellifera* می‌باشند که به معنای زنبور حمل کننده عسل است.



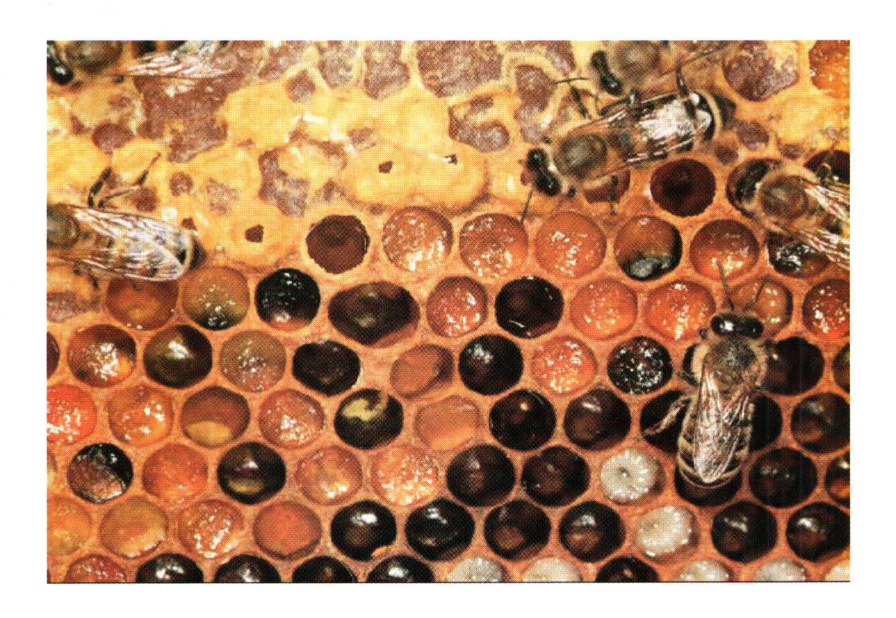
..... در کلنی‌های با جمعیت حدود ۵۰۰۰۰۰ در تابستان و حدود ۲۰۰۰۰۰ در زمستان زندگی می‌کنند.



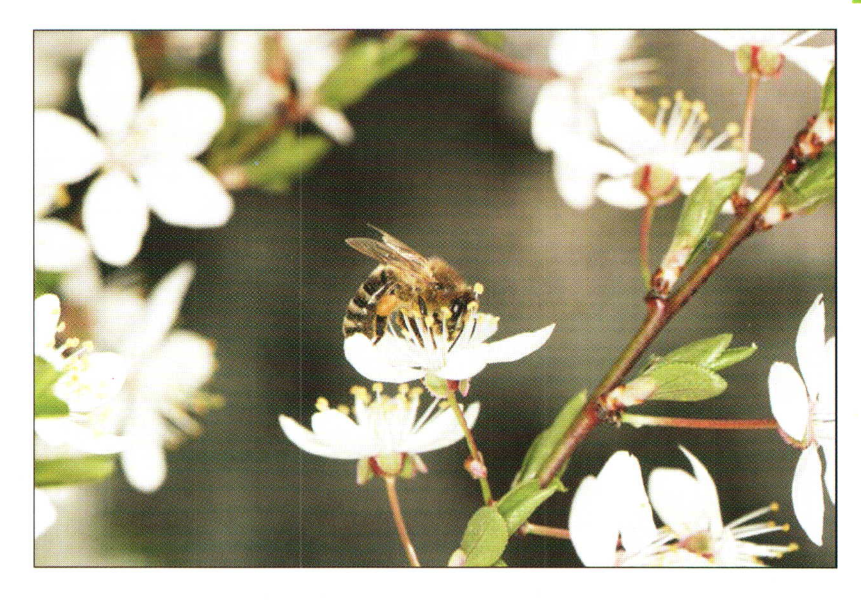
..... به گلها برای جمع‌آوری شهد و گرده سرکشی می‌کنند. آنها از شهد، عسل می‌سازند و از گرده به عنوان منبع پروتئینی تغذیه می‌کنند.



..... شهد را در چینه‌دانشان و گردهها را در سبد کوچک پاهای عقبشان حمل می‌کنند.



..... از مومهایی که توسط غدد خاصی ترشح می‌شود، شانه می‌سازند. آنها عسل و گرده جمع‌آوری شده را در سلولهای شش گوشه شانه ها ذخیره می‌کنند و در سلولها از بچه هایشان را نیز پرستاری می‌کنند.



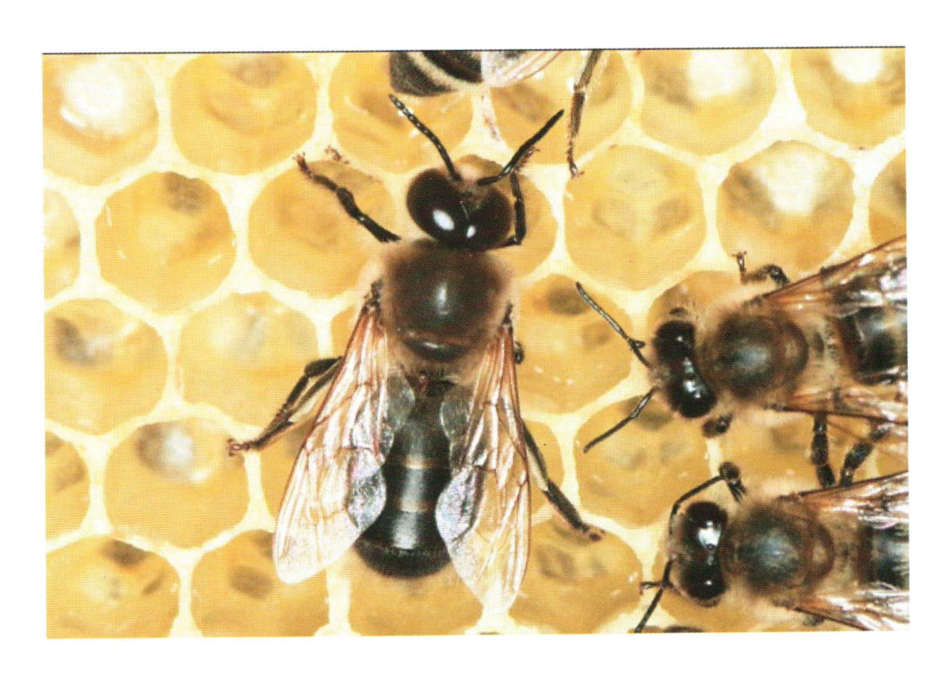
..... به عنوان بهترین گرده افشان گیاهان میوه دار عمل می‌کنند



..... توسط انسانها در کندوهای مصنوعی نگه‌داری می‌شوند و عسل، گرده، موم و ژله شاهانشان برداشت می‌شود



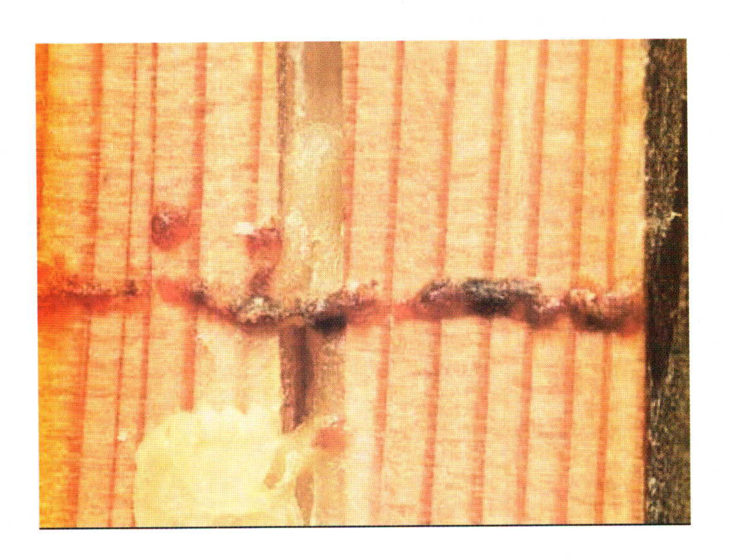
تمام زنبورهای کارگر درون کلنی عقیم هستند.



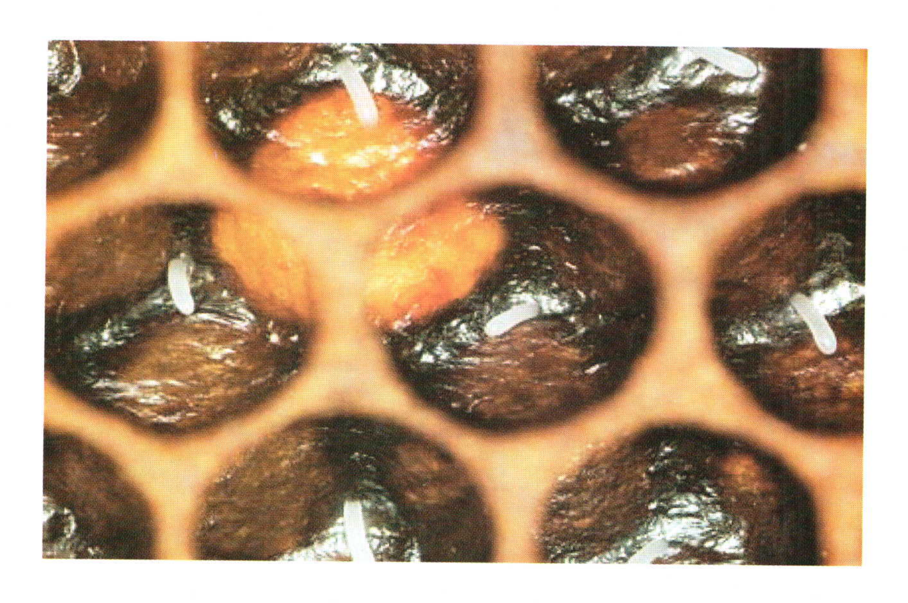
زنبورهای نر تنها به منظور تولید مثل به خدمت گرفته می‌شوند.



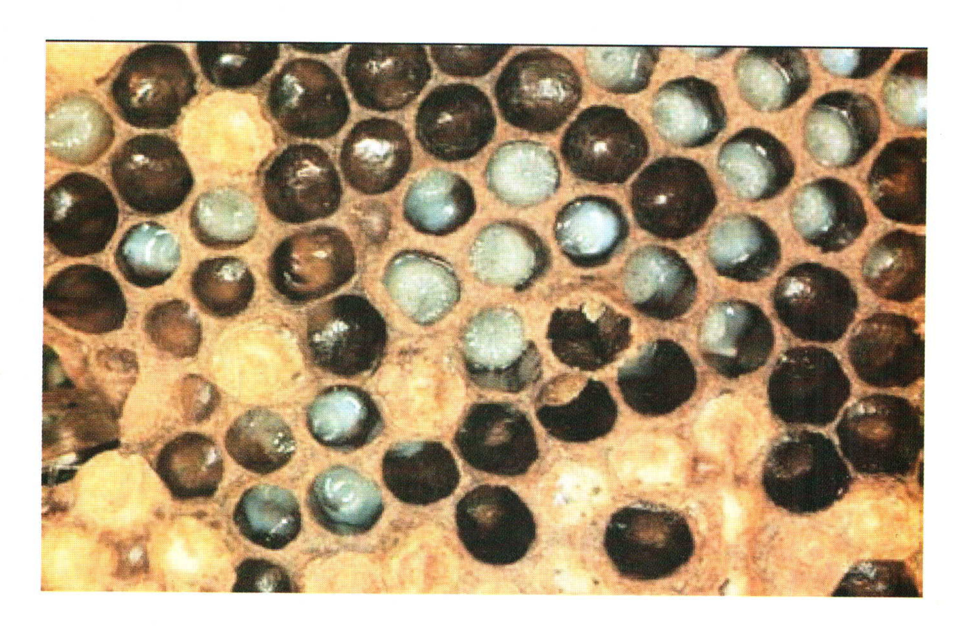
هر کلنی تنها یک ملکه دارد که با شکم کشیده اش مشخص می شود.



زنبورها رزین را از شکوفه‌ها، گلها، میوه ها و برگ گیاهان جمع‌آوری می‌کنند و از آن بـرای درزگیری استفاده می‌نمایند (که به آن بره‌موم می‌گویند). انسانها از بره مـوم بـه منظـور مقاصـد پزشکی استفاده می‌کنند



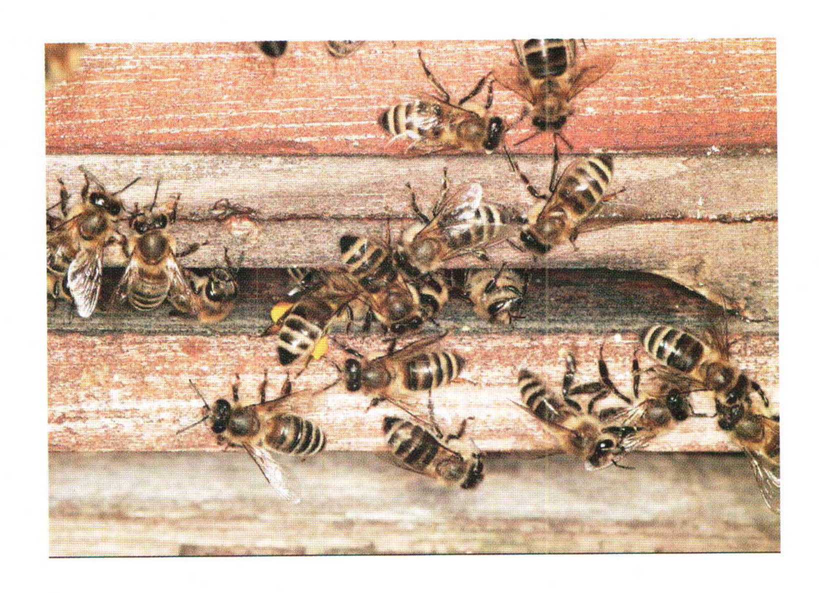
زنبور ملکه در هر خانه تنها یک تخم می‌گذارد و در عین حال تعدا تخمهایی که در یک تابستان می‌گذارد به بیش از ۲۰۰۰۰۰ می‌رسد.



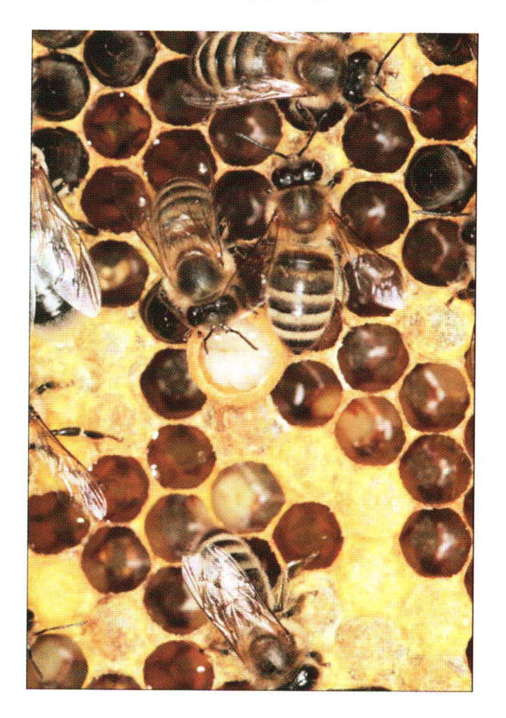
لاروهای زنبور از تخم خارج شده و وقتی به اندازه کافی رشد کردند به مرحله شفیرگی وارد می‌شوند



زنبورهای ماده از تخمهای بارور و زنبورهای نر بزرگ از تخمهای غیر بارور بوجود می‌آیند.



زنبورهای کارگر در طول زندگی خود شغلهای مختلفی را انجام می‌دهند به طور مثال : تمییز کردن کندو ، ساختن شانه ها، پرستاری از نوزادان، محافظت از کندو و وقتی به درجه ارشدی رسیدند، کندو را برای جمع‌آوری گرده و شهد ترک می‌کنند.



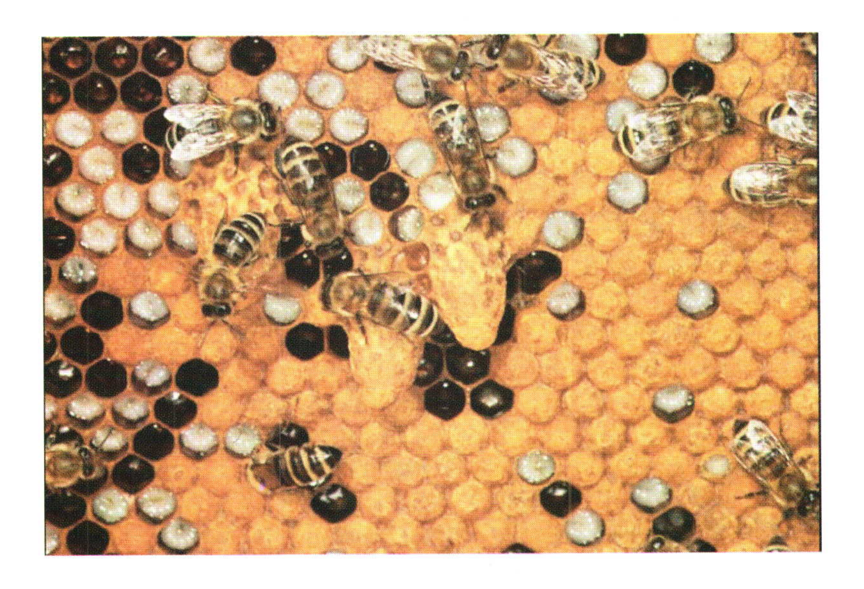
زنبورهای پرستار نوزادان در کندو انجام وظیفه می‌کنند.



جمع‌آوری گرده و شهد وظیفه زنبورهایی است که به خارج از کندو پرواز می‌کنند



زنبورهای عسل با سیگنالهای مختلف شیمیایی و حسی با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. زبان رقص بهترین بخش سیستم ارتباطی آنها می‌باشد.



در طول فصل تابستان، زنبورها ملکه های جوان متعددی را در شاخونهای ویژه پرورش داده و آنها را با جیره غذایی ویژه ایی تغذیه میکنند. ملکه های جوان تنها یک بار در زندگی خود جفتگیری می‌کنند ولی در همان یک بار با نرهای متعدد این کار را انجام میدهند.



زنبورهای عسل در سرتاسر زندگی ،ملکه را با ژله شاهانه تغذیه می‌کنند .عده ایی از زنبورها به عنوان زنبورهای ملازم وظیفه توجه و مراقبت از ملکه را در طول زندگی عهده دار هستند.



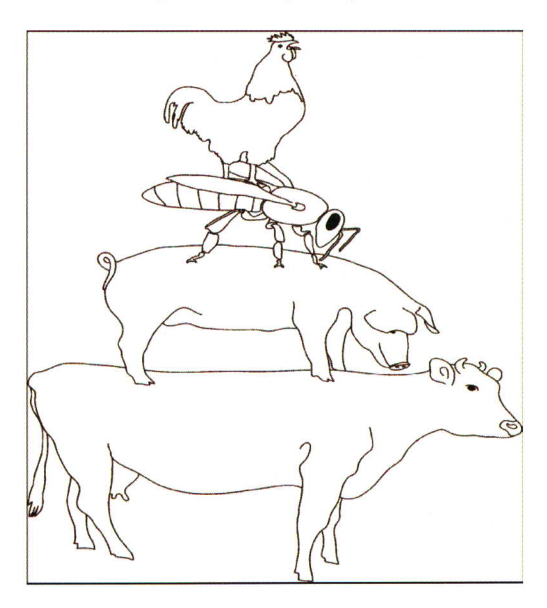
زنبورهای عسل از طریق بچه‌دهی کلنیهای خود را زیاد می‌کنند. ملکه پیر با تعداد زیـادی از اعضاء، کندوی اصلی را ترک می‌کند.



زنبورهای عسل به عنوان یک کلنی کامل میتوانند در طول زمستان بقا یابند. آنها در خوشه-های متراکمی بهم می‌چسبند و توسط لرزش ماهیچه‌های بالهایشان یکدیگر را گرم می‌کنند. آنها از ذخایر عسل به عنوان منبع اصلی انرژی برای اینکار استفاده می‌کنند.



زنبورها توسط نیش از خود دفاع می‌کنند.



بخاطر گرده‌افشانی گیاهان محصول‌دار، زنبورهای عسل سومین حیـوان اهلـی ارزشـمند در اروپا محسوب می‌شوند.

زنبورعسل به عنوان مهمترین عامل بقا و تنوع گیاهان گلدار محسوب می‌شود.



۱ چرخه حیات پایدار

زنبورهای عسل می‌بایست تحت شرایط ایده‌آل رشد کنند.

از دوران بسیار دور یعنی حدود چهار و نیم هزار میلیون سال پیش بر اساس قوانین ثابت حیات در سیاره ما گسترش یافته است. در پی مجموعه‌ایی از قوانین ساده اولیه و دستورالعملهای قابل فهم، جهان موجودات به طرز خارق‌العاده‌ایی متنوع و به شکل باور نکردنی پیچیده پدیدار گشت.

قوای محرکه برای پویایی و طغیان حیات" میل به بقا" بوده است. به عبارت ساده " بقا "یعنی تولید مثل سریعتر از رقبا. تولیدمثل به طور خلاصه یعنی تهیه کپی از یک موجود. زمانیکه از کلمه "کپی" استفاده می‌شود، کلون کردن تداعی می‌شود. مفهوم این عبارت در جهان جانداران بیشتر بر مواد وراثتی دلالت دارد که می‌توانند کپی‌های واقعی از خود تهیه نمایند. اسیدهای نوکلوئیک، مولکول‌های درشت هستند که توسط پیوندهای زیادی بهم متصل شده و زنجیره‌ایی را بوجود می‌آورند که به عنوان مواد وراثت مطرح هستند. هر پیوند در این زنجیر از چهار باز آلی متفاوت، یک قند و یک اسید فسفریک تشکیل شده است. هر کدام از این بازها می‌بایست به شکل آزاد در محیط نزدیک زنجیره در دسترس باشند. هر باز به صورت اختصاصی به باز خاصی می‌چسبد که اصطلاحاً به آن باز مکمل گفته می‌شود. در روند کپی برداری زمانیکه تمامی بارها در زنجیره با یکدیگر متصل گشتند سپس در جلوی هر طرف زنجیر بازهای مکمل خاص خود قرار می‌گیرد و بدین ترتیب نسخه المثنی بوجود می‌آید. با جدا شدن کپی از الگوی اصلی بازهای مکمل با آن پیوند تشکیل می‌دهند و یک نسخه کامل از زنجیره اولیه تولید می‌شود.

در پی تکامل اینگونه مولکولها در زمین و غلبه آنها بر جایگزین‌های احتمالی (که برای ما شناخته شده نیستند) و تهیه کپی‌های متعدد، مواد وراثتی برای هزاران میلیون سال و تا به امروز به موجودات زنده انتقال یافته‌اند.

تصور اینکه آن مولکول‌ها پیش از این برای بدست آوردن منابع اولیه کپی‌برداری خود در رقابت بوده‌اند، چندان دشوار نمی‌باشد. در ابتدا مواد خام اولیه برای ساخته شدن این مولکول‌ها

محدود بوده است. در عین حال زمانی‌که این مواد خام اولیه افزایش پیدا کردند، تقاضا نیز به همان نسبت بسیار افزایش پیدا کرد. در این میان مولکول‌هایی که از آنزیم‌ها به منظور کپی-برداری سریعتر و کارآمدتر کمک گرفتند در رقابت پیش افتادند. همگام با توسعه مولکول‌های جدید، هر قدر هم کپی‌برداری دقیق صورت گیرد در نهایت خالی از اشکال (خطا) نمی‌باشد. درصد قابل تحملی از خطا در کپی‌برداری شانس ایجاد تنوع را افزایش می‌دهد اما بدون آن هیچ چیز جدیدی بوجود نخواهد آمد.

موتاسیون‌ها که همان خطاهای کپی‌برداری هستند، منبع مهمی در پیدایش شکل‌های جدید حیات محسوب می‌شوند. بواسطه تولید مداوم نسخه‌های جدید(که بعضی‌ها کارآیی نداشتند و زود از بین رفتند یا برخی که بخاطر کارآیی باقی مانده‌اند) وفور تنوع در اسیدهای نوکلوئیک حاصل شد. این زنجیره‌های متنوع شامل دستورالعملهایی هستند که اطلاعات ژنتیکی(ژنوم) یک موجود خاص را تشکیل می‌دهند. در نهایت این ژنومها هستند که منجر به تنوع‌های کلان در اشکال زندگی موجودات زنده می‌شوند.

این نکته قابل چشم‌پوشی نیست که بعداز گذشت زمانیکه تصورش بسیار دشوار است یعنی بیش از ۴۰۰۰ میلیون سال پیش جهان با زنجیره‌هایی از اسیدهای نوکلوئیک که هر کدام دارای ساختار متفاوتی هستند، کماکان به آهستگی درحال پیشروی است. در حالی‌که این زنجیرها بصورت مجموعه‌های متنوعی در محیط خارج حضور داشته ولی بصورت آزاد در محیط یافت نمی‌شوند. دلیل این جدایی و قرارگیری نوکلوتیدها در اعماق موجودات چیست؟ علاوه بر این اسیدهای نوکلوئیکی که دائماً در حال تکثیر بوده و در قیاس با اسیدهای نوکلوئیک مشابه که در رقابت مستقیم هستند توان اجرایی خود را ارتقاء می‌دهند. چگونه فرآیند تشکیل مجموعه‌های متنوع به این امر کمک می‌نماید؟

حیات پیچیده می‌شود

اگر در جستجوی خصوصیات مواد انتقال دهنده وراثت یعنی اسیدهای نوکلوئیک از زمان شروع تکامل تا به حال باشید به نکات ذیل برمی‌خورید:

- در طول زمان ساختمان پیچیده‌تری پیدا کرده‌اند.
- ساختارهای آنان نسبت به تک تک عناصر سازنده قدرت عمل بیشتری دارند.
- ساختارها می‌توانند رفتار عناصر تشکیل دهنده را تعیین نمایند.

نکته جالب این است که از مواد وراثتی بالنفسه دارای ساختار پیچیده‌تری نمی‌شوند. از سه جمله بالا بطور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که در فرآیند تکامل به منظور توسعه مجموعه‌های متنوع موجود زنده و یا به عبارت دیگر فنوتیپ، قابل آشکارتری وجود دارد. در واقع مواد

وراثتی موجودات (ژنوم) تعیین کننده فنوتیپ بوده و نقش اساسی در بقا و تولید مثل موفق‌تر نسبت به سایر رقبا دارند.

اولین سلول‌ها با سازمان‌دهی پیچیده حدود ۳۵۰۰ میلیون سال پیش بوجود آمدند. این سلولها شامل تعداد زیادی از عناصر عملکردی مهم بودند و در ساختمان آنها ژنوم در هسته محدود نبوده است. این حقیقت در واقع اولین نوع زندگی آزاد بود که در آن سلول‌های مستقل انرژی و مواد مورد نیاز برای تکثیر ژنوم خود را از محیط اطراف دریافت می‌کردند. تک سلولی‌هایی که آزادانه زندگی می‌کنند امروزه نیز وجود داشته و نقش مهمی را در اقتصاد طبیعت بازی می‌کنند. این سلول‌های آزاد شامل باکتریها و موجودات تک‌سلولی هستند که در مراحل اولیه تکامل باقی ماندند و بطور واضحی می‌توانند با موجودات چند سلولی رقابت کنند. تکامل موجودات چند سلولی ۳۰۰۰ میلیون سال بعد از تک‌سلولی یعنی حدود ۶۰۰ میلیون سال قبل آغاز شد. در این جهش بزرگ، موجودات مستقل تک سلولی در کنار یکدیگر گرد آمده و موجودات چند سلولی را بوجود آوردند. با ورود به این مرحله از پیچیدگی، ابتدا سلول‌ها به صورت مستقل فقط به شکل کلنی‌هایی در کنار هم زندگی می‌کردند. سپس در اثر این رویداد دو ویژگی اساسی پدیدار گردید که اولی تقسیم کار و دیگری همکاری و تعاون بود. طی این فرآیند، موجودات بسیار بهتر توانستند برای تکثیر تنوع خود از ژنوم‌ها استفاده نمایند. در طی تجمع واحدهای ساختمانی موجود، ساختارهای پیچیده شکل گرفتند و بر پایه این تجمع ها ساختارهای پیچیده، تکامل پیدا کردند. نحوه پیدایش موجودات تکامل یافته پیچیده غیرقابل بحث می‌باشد ولی چرا باید شکل‌گیری موجودات پیچیده مزیت داشته باشد؟ اگر مزیت‌هایی دارد، آن مزایا کدامند؟

یکی از مزایای این پدیده تقسیم کارهای مختلف و محول کردن وظایف گوناگون به بخشهای مختلف می‌باشد. این نحوه تخصصی شدن امکان حل مشکلات مختلف را بجای پشت سرهم (که در موجودات تک سلولی انجام می‌شود)، بطور همزمان فراهم می‌کند.

انواع سلول‌های مختلف در موجودات چند سلولی علاوه بر اینکه در انجام وظایف به یکدیگر کمک می‌کنند بطور بنیادی راهکارهای جدیدی نیز برای تعامل با محیط پیرامون بوجود می‌آورند. این واقعه آشکارا یک گام بسیار موفق برای موجودات چندسلولی در تعیین صورت ظاهری دنیای موجودات زنده است.

مرگ برنامه‌ریزی شده با شکل‌گیری زندگی چند سلولی بوجود آمده است. ناقلین ژنومهای بوجود آمده در موجودات چند سلولی مرگ آور هستند. با دانستن این واقعیت ممکن است تصور شود که این شروع خوبی در منازعه و رقابت برای تنازع بقا نبوده است. راه خروج از این چنین تنگنایی، محافظت از بخش کوچکی از سلول‌ها در مقابل مرگ می‌باشد و این کار

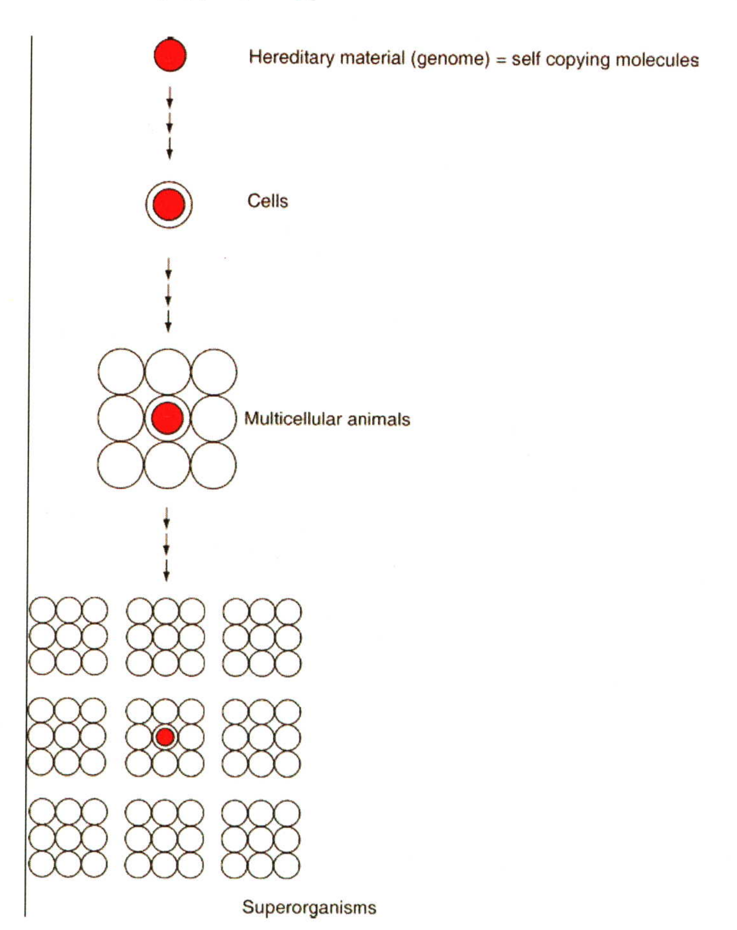
میسر نمی‌شود مگر به صورت کپی‌برداری دائمی از آنها. بنابراین تشکیلات پرسلولی از این رهگذر تدابیری بر ضد طول عمر محدود خود اندیشیده‌اند.

حیوانات پر سلولی، مسئولیت انتقال ژنوم را به سلول‌های تخصص یافته‌ایی بنام سلول‌های جنسی نر و ماده واگذار نموده‌اند. بر پایه این رویداد نسل‌های متوالی در طول زمان شکل گرفته‌اند و انتقال ژنوم مستقل از مرگ افراد حامل ژنوم‌ها صورت پذیرفته است.

ساختمان سیستم‌های پیچیده و کوچک‌تر تشکیل شده از عناصر پایدار منجر به بوجود آمدن موجودات چند سلولی می‌شود که مشکل مرگ و میر ناشی از ژنوم را حل نموده‌اند.

خط ژنی

جهش تکاملی که در بالا شرح داده شد یک نکته مهم دارد و آن تبدیل عناصر سازنده ساده و در دسترس اولیه به عناصر جدیدتر و ساختمان‌های پیچیده‌تر است. بر این اساس با بوجود آمدن سطوح بالاتری از پیچیدگی قابلیت‌های جدیدی در جهان موجودات شکل گرفته‌اند که قبلاً قابل دسترس نبوده‌اند. در پی منطق سازماندهی عناصر به منظور تشکیل زیر ساختارها، جهش بعدی در تشکیل موجود پیچیده‌تر و در کنار هم قرار گرفتن هرکدام از قطعات (تکه‌ها) و در نهایت ظهور سوپرارگانیسم‌ها (موجودات عالی) است (تصویر ۱-۱). هر بیننده‌ایی متوجه می‌شود که اولین گام در پیشرفت تکامل در زمین بوجوُد آمدن سوپرارگانیسم‌ها بوده است. مهمترین نکته برای بوجود آمدن یک سوپراورگانیسم در دسترس بودن مواد خام اولیه کافی بوده است. بر پایه این تفکر گاهی اوقات سوپرارگانیسم‌ها نیز ممکن است با یکدیگر متحد شده و سطح جدیدی از حیات که بر سوپرارگانیسم‌ها غالب هستند را بوجود آورند. تکامل هنوز آن را انجام نداده است. آیا این واقعه هرگز اتفاق خواهد افتاد؟ نشانه‌هایی در گونه‌های خاصی از مورچه‌ها وجود دارد که این گونه تکامل تا حدودی در حال صورت پذیرفتن است.



تصویر ۱-۱: درجات مهمی از تغییر و پیچیده شدن موجودات در طول تکامل نشان داده شده است.جریان پیوسته‌ای از عناصر که بدون وقفه از اولین روز حیات کپی‌برداری شدند و تا به امروز نیز به موجودات زنده انتقال داده شده‌اند وجود دارند، بصورت دایره‌های قرمز نشان داده شده است. در ابتدا، تک سلولی‌ها، ژنوم را در هسته خود نسل به نسل مکرراً منتقل کرده‌اند. سپس آنها در کنار هم یک موجود واحد با پیچیدگی بیشتر را تشکیل دادند اما جریان ژنی آنان به صورت سلول‌های جنسی ادامه دارد. در یک سوپرارگانیسمی مثل کلنی‌های زنبورعسل، ملکه‌ها و نرها مسئول تولید مثل و ادامه خطوط جنسی هستند. در یک موجود واحد سلول‌های بدنی مسئولیت پشتیبانی را بر عهده دارند. این در حالی است که در سوپرارگانیسم‌هایی مثل کلنی‌های زنبورعسل وظیفه پشتیبانی برعهده زنبورهای کارگر می‌باشد. دایره‌های توخالی در نمودار بالا عناصری را نشان می‌دهد که خود قابلیت کپی‌برداری از خود را نداشته اما برای پشتیبانی از دیگران تکامل یافته‌اند.

سوپرارگانیسم

زنبورهای عسل به گونه‌ای که امروزه وجود دارند سابقه ۳۰ میلیون ساله داشته و احتمالاً در یکی از مراحل حیات بوجود آمده‌اند. آنان مجبور به ظاهر شدن به شکل مراحل مختلف سنی بوده‌اند. شکل و جزییات بدنشان نیز احتمالاً متفاوت بوده و شبیه زنبورهای عسل امروزی نبوده‌اند. اما تاکنون نمونه مشابهی از این نوع سازمان‌دهی که در کلنی زنبورعسل به عنوان یک

سوپرارگانیسم وجود دارد، یافت نشده است.

با این وجود زنبورهای عسل موفق شدند بدلیل داشتن شرایط ضروری ظهور یابند. از لحاظ تئوری دلیل بوجود آمدن یک سوپرارگانیسم اثبات نوع جدیدی از سازمان‌دهی است. در دنیای طبیعت سوپرارگانیسم‌های مختلفی با رده‌بندی‌های متفاوتی یافت می‌شوند مانند موریانه‌ها، (با اندکی استثناء در رده‌بندی) بال غشائیان بویژه مورچه‌ها، زنبورهای عسل، زنبورهای مخملی و زنبورهای شکارچی. شرایط مورد نیاز برای بوجود آمدن یک سوپرارگانیسم در فصل ۹ توضیح داده خواهد شد. از هم اکنون به بررسی حال می‌پردازیم و نکات مربوط به گذشته را در فصل‌های آینده بررسی می‌نماییم.

در کلنی زنبورهای عسل به عنوان یک سوپرارگانیسم، در عین اینکه یک سیستم بسیار پیچیده‌ای داریم، اما مشابه بسیاری از سیستم‌های ساده آنها تنها حاملی برای ژنوم هستند.

افراد تخصص یافته در سوپرارگانیسم‌ها، همانند سلول‌های جنسی در موجودات پرسلولی با نقشی که توسط ژنومشان مشخص شده کاملاً سازگاری دارند. کلنی‌ها توسط افراد معدودی که از لحاظ جنسی فعال بوده و ژن‌ها را مستقیماً انتقال می‌دهد خلق می‌شوند. اما اکثر جمعیت کلنی قابلیت تولیدمثل نداشته ولی کارهای مختلف و ضروری را برای نگهداری کلنی مثل رشد اندام ها و کنترل کیفی افراد فعال از لحاظ جنسی انجام می‌دهند. آیا با ساختار پیچیده‌تر می‌توان به اهداف بیشتری دست یافت؟ آیا این نکته در مورد زنبورهای عسل هم صدق می‌کند؟ سازمان‌های پیچیده که از واحدهای اولیه تشکیل شده‌اند نسبت به تشکل‌های ساده‌تر، اجزاء بیشتری داشته، از این رو احتمال اثر متقابل بین اجزاء بیشتر می‌شود. به همین دلیل سازمان‌های پیچیده تحت شرایط خاصی ویژگی‌هایی از خود بروز می‌دهند که توسط هر یک از اجزاء آنها به تنهایی، قابل توضیح نمی‌باشد. بر اساس اطلاعات اولیه که بین افراد به عنوان یک عضو از کلنی زنبورعسل در جریان است، تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد بطوریکه هر کدام از اعضا به تنهایی قادر به انجام آن نیستند. سودی که کلنی زنبورعسل از کنار هم قرار گرفتن قابلیت‌های اعضاء خود بدست می‌آورد در فصل ۱۰ با جزییات بیشتر شرح داده خواهد شد.

آیا یک سیستم پیچیده واقعاً می‌تواند خصوصیات اعضایش را تحت تأثیر قرار دهد و تعیین نماید؟ این دقیقاً همان کاری است که کلنی زنبورهای عسل انجام می‌دهد. ویژگی و خصوصیات هر زنبورعسل توسط شرایط ویژه زندگی در کلنی و بوسیله خود زنبورها تعیین می‌شود. فصلهای ۶ و ۸ به بررسی این ویژگیهای مهم در بیولوژی زنبورهای عسل به جزئیات پرداخته است.

۲ اسرار جاودانگی

بیولوژی زنبورهای عسل براساس استفاده از انرژی و مواد غذایی محیط و تبدیل آنها به منظور تضمین بالاترین سطح تولید مثل و تکثیر کلنی‌های دختری استوار می‌باشد. این نکته کلید شناخت کارآیی بالای زنبورهای عسل است

تولید مثل و رابطه جنسی دو مرحله متفاوت و مستقل می‌باشند. تولید مثل می‌تواند بدون رابطه جنسی رخ دهد و بالعکس. یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای تکثیر یافتن، تقسیم سلولی است. این درحالی‌ست که مرحله تولید مثل جنسی بر پایه ادغام سلول‌های جنسی از دو فرد مختلف استوار بوده و در نهایت منجر به ایجاد تنوع در جمعیت می‌گردد. ایجاد تنوع از این جهت مهم است که احتمالات زیادی را بوجود می‌آورد که این خود باعث انتخاب و نگهداری یک تکامل پویا در جمعیت می‌شود. جهش در ژنوم هم همین تأثیر را داشته با این تفاوت که قابل القا کردن نبوده و به صورت تصادفی رخ می‌دهند. جنسیت وابسته به این اتفاقات (شانس‌ها) نیست و بطور حتم بعد از هر باروری تعیین می‌گردد.

به عنوان یک قانون در حیوانات عالی‌تر، تولید مثل همراه با ارتباط جنسی رخ می‌دهد، بنابراین عدم وابستگی رابطه جنسی و تولید مثل امکان پذیر نیست. این در حالیست که رابطه جنسی بدون تولیدمثل در شکل تک‌سلولی حیات وجود داشته است، بدین سان که دو موجود تک‌سلولی با همدیگر امتزاج یافته و پس از تقسیم ژنوم خود از یکدیگر جدا می‌شدند. نتیجه این امتزاج، ظهور مجدد دو موجود تک‌سلولی بود. بنابراین هیچ تولید مثلی رخ نداده اما از طریق جایگزینی ژنوم‌ها، از لحاظ ژنتیکی دو موجود جدید بوجود می‌آیند که این پدیده در نهایت منجر به ایجاد تنوع در جمعیت می‌گردد.

تولیدمثل و روابط جنسی

به علت تولید مثل و رفتار جنسی غیرمعمول، کلنی زنبورهای عسل و کلنی زنبورهای بدون نیش مناطق گرمسیری از جایگاه ویژه‌ای در سلسه حیوانات برخوردار می باشند. به طور معمول در حیواناتی که از طریق رابطه جنسی تولید مثل می‌کنند، ابتدا یک جفتگیری صورت می‌گیرد و سپس فرزندان (نتاج) حاصل از آن بوجود می‌آیند که آنها نیز قابلیت تولید مثل و تشکیل نسل

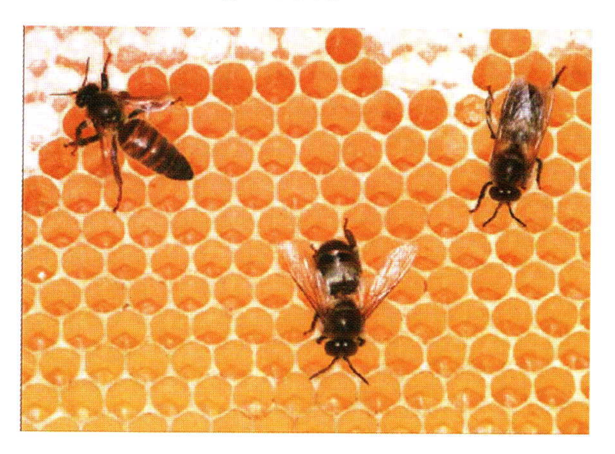
بعدی را دارا می‌باشند.

زاد و ولد زنبورهای عسل با سایر موجودات دیگر متفاوت می باشد. بگذارید نگاهی به یک آزمایش کوچک بیاندازیم: اگر تمام افراد نابارور کلنی (کارگران) زنبورعسل به یک باره ناپدید شوند، یک ماده تنها یعنی همان ملکه در تمام کندو دیده می‌شود. یک بار در سال ملکه بین یک تا سه دختر پرورش می‌دهد که هر کدام از آنها در سال بعد یا در همان کندوی قبلی و یا در مکان جدیدی قابلیت تولید مثل به همان روش را دارا می‌باشند. هر تابستان هزاران زنبورعسل نر (Drone) ظاهر گردیده و کندو را ترک می‌کنند تا با ملکه‌های جوان کندوهای مجاور جفتگیری نمایند(تصویر ۱ . ۲).

از یک دیدگاه، دلیل این شیوه رفتار جنسی و تولید مثلی و تعداد بسیار نابرابر نرها و ماده‌ها(کارگران) این واقعیت می‌باشد که ماده‌ها برای سال‌های بسیاری زنده مانده ولی نرها زمان اندکی زنده هستند. همچنین یک نابرابری فوق‌العاده‌ای در نسبت تعداد ماده‌ها به تعداد نرها در کلنی زنبورعسل وجود دارد.

در مقایسه با سایر حشرات که هر ماده ۱۰۰۰۰ فرزند بارور که بطور تقریباً مساوی نر و ماده هستند، تولید می‌کند، دو تا سه دختر در هر دوره تولید مثلی رقم بسیار اندکی برای زنبورعسل است. حیوانات ماده در فصل تولید مثل بطور واضحی ارزشمندتر از حیوانات نر می‌باشند زیرا نرها حجم وسیعی از اسپرم را تولید می‌کنند که ارزش چندانی ندارد ولی ماده‌ها در مقایسه با نرها تعداد کمی تخم تولید می‌کنند که ارزش فوق‌العاده زیادی دارد. از دیدگاه کارشناسی تعداد کمی از نرها در هر جمعیتی برای بارورسازی تمام ماده‌ها کفایت می‌کنند.

نکته شگفت‌انگیز در مورد کلنی زنبورهای عسل تعداد بسیار زیاد زنبورهای ماده در قبال تعداد بسیار اندک زنبورهای نر است. این شرایط بالعکس، بیشتر قابل فهم بوده زیرا تعداد کم نرها قابلیت تولید اسپرم برای بارورسازی همه سلول‌های تخم را دارند. مدت زمان کم و زیاد بین پیدایش ماده‌های بارور (ملکه) نیز باعث شگفتی است. در ظرف این مدت زمان بیشتر حیوانات دیگر تا آنجایی که شرایط محیطی و فیزیولوژی بدن‌شان اجازه دهد، نسل‌های زیادی تولید می‌کنند. چرا زنبورهای عسل این راه منحصر به فرد را انتخاب کرده‌اند؟ پرورش تعداد کمی نتاج ماده از جهات مختلف بسیار پرمخاطره است. بر اساس نظریه داروین تولید بیش از حد فرزندان متفاوت مهمترین لازمه تکامل است. این نکته در زنبورهای عسل محدود بوده و به همین دلیل زنبورهای عسل دارای تنوع کمتری هستند. در این شرایط طی فرآیند انتخاب تعداد احتمالات موجود اندک است بعلاوه، تعداد کم نوزادان می‌توانند بطور کامل از بین رفته و ژن آنها از مخزن اصلی ژنتیکی کاملاً حذف گردد.



تصویر ۱ - ۲: اگر تمام زنبورهای نابارور کندو به یک باره ناپدید شوند، تنها یک ملکه و یک زوج زنبور نر همانگونه که در شکل دیده می‌شود، باقی می‌مانند.

حیواناتی که در ابتدای زندگی از فرزندان خود شدیداً مراقبت می‌کنند اغلب تعداد فرزندان کمتری دارند. در شرایط مطلوب مراقبت پدر و مادر تا زمان بلوغ جنسی فرزندان ادامه می‌یابد. فرزندان محافظت شده در مقایسه با آنهایی که در طبیعت رها می‌شوند، مطمئناً شانس بیشتری برای انتقال ژن‌ها به نسل بعدی را دارا می‌باشند. در پستانداران بزرگ، آبستنی منجر به تولید یک تا دو فرزند شده که مدت زمان بیشتری تحت مراقبت می‌باشند بنابراین تعداد کمتر فرزندان مساوی است با مدت زمان بیشتر که تحت مراقبت قرار می‌گیرند.

آیا این وضعیت با زنبورهای عسل قابل مقایسه است؟ در واقع زنبورهای عسل همین کار را می‌کنند. زنبورهای عسل سیستم مؤثر و کارآیی در ایجاد شرایط مطلوب به منظور رشد ماده‌های جوان بارور برای مدت طولانی دارند.

در صورتی که به آزمایش خود بازگردیم: اگر اجازه دهیم تا تمام زنبورهای نابارور در یک کلنی دیده شوند، کندو بطور ناگهانی توسط هزاران ماده عقیم اشغال می‌گردد(تصویر ۲ . ۲).

کلنی‌های دختری

زنبورهای عسل ماده عقیم محیط امنی را برای ملکه تأمین می‌کنند و آنها برای هر ملکه جوان یک کلنی را فراهم می‌آورند. زمانیکه ملکه پیر با ۷۰٪ زنبورهای کارگر،کندو را ترک می‌کند (در هنگام بچه‌دهی) ملکه جوان که در کلنی می‌ماند در واقع همان دختر بارور ملکه پیر است که به عنوان هدیه نه تنها یک سوم زنبورهای کارگر بلکه شان‌هایی پر از عسل، گرده و لاروهای در حال رشد را دریافت می‌کند. بهتر از این شرایط برای آغاز زندگی ملکه قابل تصور نیست.

در شرایط طبیعی یک کلنی زنبورعسل می‌تواند بیش از یک بچه کندو، تولید کند. بعد از جدا شدن اولین گروه بچه زنبور، اغلب آنقدر زنبور در آشیانه باقی مانده که مجدداً بین دو ملکه جوان تقسیم شوند. در این هنگام، پس بچه‌ها با تجمع زنبورهای کارگر در اطراف ملکه-های جوان شکل گرفته که از نظر جمعیت، کوچکتر از بچه زنبور اولیه هستند. قدرت زنده مانی بچه زنبورها وابسته به اندازه جمعیت کارگران آن‌هاست، شانس بقاء برای پس بچه زنبورهای کوچک، بسیار اندک است.

تولید تعداد کم ماده‌های بارور (ملکه‌های جوان) در زنبورهای عسل به دلیل آن است که کندو به تعداد کلنی‌های دختر زیادی تقسیم شده و هر گروه در اطراف یک ملکه جدید جمع می‌شوند.

تولیدمثل بواسطه پایه‌گذاری کلنی‌های دختر کامل، استراتژی پیچیده‌ای است که در حشرات فقط در زنبورهای عسل، زنبورهای بدون نیش (که نقش زنبورهای عسل را در مناطق گرمسیری ایفا می‌کنند) و بعضی مورچه‌ها شناخته شده که تولید مثل آنان از طریق تقسیم کلنی صورت می‌پذیرد.

بچه‌دهی بسته به عرض جغرافیایی از آوریل تا سپتامبر(اردیبهشت تا مهر) متغیر است. زمانیکه تعداد اعضاء کندو به حداکثر رسیده و بچه‌های کافی برای جایگزینی زنبورهای بالغی که در بچه‌دهی اولیه کلنی را ترک می‌نمایند، موجود باشند، ملکه‌های جدید تولید می‌شوند.

آماده‌سازی برای بچه‌دهی از ۲ تا ۴ هفته قبل از جدا شدن بچه اول انجام می‌شود. بدین صورت که آنها شاخون‌های ملکه که به طول یک بند انگشت می‌باشد و از لبه‌ی پایینی شان‌ها آویزان است را می‌سازند(تصویر ۳ . ۲).

این قسمت‌های فنجانی شکل کوچک (شاخون‌های ملکه) برای مدت زیادی ممکن است در کلنی وجود داشته باشند اما فقط در زمان آماده شدن برای بچه‌دهی در آنها تخمگذاری صورت می‌پذیرد. بیش از ۲۵ سلول (شاخون) در کندو وجود دارد که بالقوه قابلیت ملکه شدن را دارند اما تعداد زیادی از آنها متولد نمی‌شوند. وقت بچه‌دهی، زمانی فرا می‌رسد که اولین گروه از این لاروها به قدر کافی بزرگ شده تا سلول آن‌ها توسط کارگرها بسته شده و وارد مرحله شفیرگی شوند. ملکه پیر چند روز قبل از پدیدار شدن ملکه جوان در تاریکی کندو آشیانه را ترک می‌کند. بلافاصله قبل از ترک کندو، زنبورهای کارگر، عسلدان‌شان را از عسل ذخیره شده در آشیانه پر می‌کنند و با ملکه پیر کندو را ترک می‌کنند (تصویر ۴ . ۲). این مقدار آذوقه برای حدأکثر ۱۰ روز بوده و بچه زنبور می‌بایست در این مدت محلی را برای تشکیل و پایه‌گذاری کلنی جدید پیدا کند.



تصویر ۲ - ۲: یک ملکه بارور، تعداد زیادی کارگر ماده نابارور و تعداد زیادی از نرها در فصل جفتگیری، اساس کلنی زنبورها را بعنوان یک سوپرارگانیسم تشکیل می‌دهند.

مدت کوتاهی قبل از ترک کندو، برخی از افراد خوشه بچه زنبور به اطراف دویده و سایرین را مطلع نموده و سیگنال‌های نوسانی با فرکانس زیاد تولید و با گاز گرفتن و کشیدن پاها و بال‌های ملکه باعث تحریک آن می‌گردند. توده زنبورها همانند سیلی از کندو خارج می‌شوند (تصویر ۵ . ۲) و با صدای وز وز خود فضای اطراف آشیانه را پر می‌کنند سپس در نزدیک کندو به صورت یک خوشه بزرگ درمی‌آیند (تصویر ۶ . ۲) و از همان جا جستجو برای یک خانه جدید را آغاز می‌کنند. گروه جدا شده شامل بهترین افراد کلنی اصلی می‌باشد. این درحالی است که زنبورهای خیلی جوان و خیلی مسن در همان کلنی اصلی باقی خواهند ماند.

زمانیکه کندو قابلیت تحمل جدا شدن بیشتر زنبورها را پس از بچه‌دهی اولیه نداشته باشد، زنبورهای کارگر تمام سلول‌های ملکه که در آن لارو وجود دارد را خراب می‌کنند. زمانیکه کندو دوباره اندازه جمعیت خود را بازسازی نمود، آن‌ها دوباره شروع به پرورش ملکه خواهند کرد.

تولید مثل از طریق ایجاد کلنی‌های دختر کامل و کارآمد، بخش بسیار جالبی از زندگی

زنبورهای عسل می‌باشد. با این روش پتانسیل فناناپذیری به زنبورهای عسل اعطا شده است و آن‌ها را قادر می‌سازد که کپی‌های جاودانی را در جهان منتشر نماید.

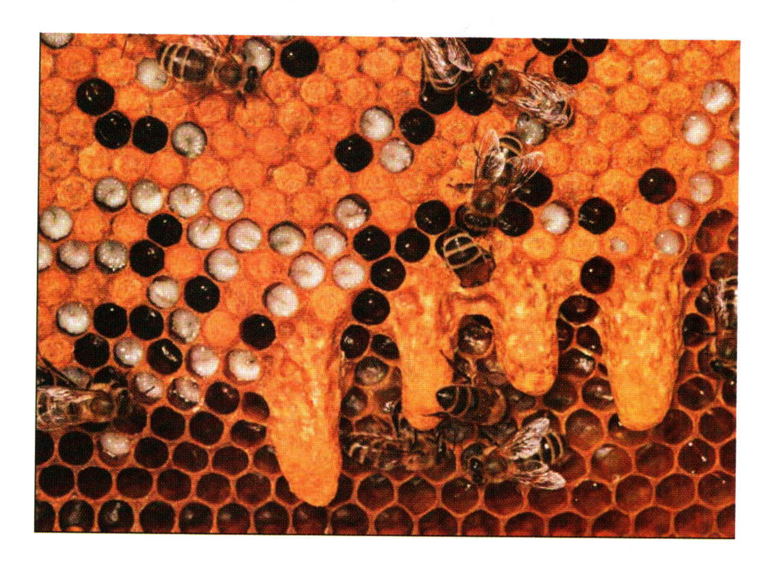
کلنی‌های دختری تولید شده پایان کپی‌های ژنتیکی نخواهد بود بلکه هر سوپرارگانیسم جدید صاحب ژنوم خاص خود می‌باشد. همه افراد کلنی، فرزند یک مادر مشترک هستند . فقط ژن‌هایی که مادر از طریق تخمک و یا اسپرم موجود در مخزن منی (Spermatecha) به نوزادان خود منتقل می‌کند، شکل ژنتیکی کلنی را بوجود می‌آورند. حتی اگر ملکه‌های جدید دو قلو هم باشند، قادر نخواهند بود که کلنی‌هایی با الگوی ژنتیکی یکسان تولید کنند. زیرا نرها دارای رفتار جنسی هستند که پس از یک بار جفتگیری خواهند مرد (فصل ۵). بنابراین بطور قطع فرزندان دو ملکه هرگز یکسان نخواهند بود.

قسمتی از کلنی که پس از بچه‌دهی باقی می‌مانند، بطور قطع از آن‌ها که کلنی را ترک کردند قابل تمایز می‌باشند. زیرا همگی آنان از یک مادر بوجود آمده‌اند. پس از این تغییر و تحولات، ملکه جوان شروع به تخم‌گذاری می‌کند. از آنجایی که عاقبت، همگی افراد کلنی اصلی خواهند مرد، تغییری در الگوی ژنتیکی پدیدار خواهد شد. کلنی زنبور عسلی که مدت زیادی در یک کندو حضور دارد با هر تغییر ملکه الگوی ژنتیکی خود را تغییر می‌دهد.

قسمتی از کلنی هم که در بچه‌دهی اولیه با ملکه پیر جدا شدند، الگوی ژنتیکی خود را تا جایگزینی دوباره ملکه حفظ می‌کنند.

چرخه زندگی در سوپرارگانیسم‌ها

هر نسل از موجودات چند سلولی دارای سیکل حیاتی چهار مرحله‌ای هستند: این سیکل با مرحله تک سلولی که معمولاً همان تخمک بارور است آغاز می‌گردد. مرحله دوم رشد و تکامل می‌باشد. مرحله سوم با بلوغ جنسی آغاز گشته و به مرحله چهارم که دوران تولید مثل است ختم می‌شود. هر چهار مرحله یک نسل تازه را پایه‌گذاری می‌کند. زمانی که صرف ایجاد نسل می‌شود، در گونه‌های مختلف موجودات متغیر است. زیرا این مرحله بستگی زیادی به شرایط محیطی دارد. فصل‌ها و شرایط آب و هوایشان با تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم خود فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در طول مدت زمان لازم برای ایجاد نسل جدید می‌باشند.



تصویر ۳ - ۲: کلنی شاخون ملکه را به‌عنوان اولین گام در تولید مثل، می‌سازد. تعداد زیادی شاخون ملکه در حاشیه شان‌ها ساخته می‌شوند.



تصویر ۴ - ۲: زنبورهای کارگر قبل از بچه‌دهی عسلدان‌هایشان را از عسل پر می‌کنند. خانه جدید می‌بایست قبل از تمام شدن عسل ذخیره شده پیدا و تسخیر شود.

مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک ملکه زنبورعسل مراحل تکامل خود را از حالت جنینی در تخم طی کرده تا زمانیکه بالغ گردد و جفت‌گیری نماید، حدود یک ماه طول می‌کشد. اما این بدین معنا نیست که هر نسل جدید از ملکه‌های زنبورعسل هر ۴ هفته یکبار تولید می‌شوند، زیرا تولید مثل آن‌ها بستگی به شرایط فصلی سال دارد. مرحله اولیه یک ماه است اما مرحله بعدی ممکن است تا یکسال نیز طول بکشد. یک ماه مدت زمانی است که از گذاشتن تخم تا

تبدیل شدن به یک ملکه جدید با قابلیت تولید مثل موفق، طول می‌کشد. فاز ثانویه تولید مثل حدود یک سال بطول می‌انجامد که شامل مدت زمانی است که این ملکه بتواند تخمی بگذارد که تبدیل به ملکه جدید شود و آن ملکه قابلیت تولید نسل جدید را داشته باشد. با توجه به این ریتم مدت زمان لازم برای تولید موفق نسل‌های جدید ملکه بسیار متغیر می‌باشد.



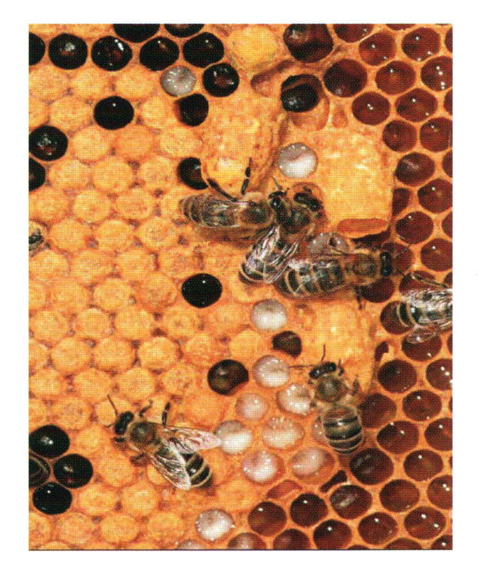
تصویر ۵ -۲: توده بچه زنبورها به خارج از کندو حرکت می‌نمایند.



تصویر ۶ - ۲: خوشه بچه زنبور در نزدیک کندوی قبلی مستقر شده و زنبوران پیشرو را برای جستجوی خانه جدید گسیل می‌دارد.

این استراتژی تولید نسل که ملکه پیوسته تخم‌هایی می‌گذارد که تبدیل به ماده می‌شوند تنها در سوپرارگانیسمها محتمل است. تمام این ماده‌ها عقیم باقی خواهند ماند. ماده‌های بارور تنها زمانی تولید می‌شوند که به آنها نیاز باشد و در این وضعیت زنبورهای کارگر رژیم غذایی ویژه-ایی به لاروهای درون شاخون ملکه می‌دهند. با توجه به حضور دائمی لاروها در کندو، زنبورهای کارگر تقریباً هرگاه بخواهند می‌توانند نوزادان بارور را تولید نمایند. بجز چند هفته کوتاه در زمستان که لاروی در کندو حضور ندارد. معمولاً ملکه‌های جدید هر سال یکبار پرورش داده می‌شوند و بعد از زمان کوتاهی که بالغ و بارور می‌شوند، می‌توانند در طول بهار و تابستان تخم‌گذاری کنند.

زنبورهای کارگر موجود در کلنی فعالانه ریتم پویای تولید مثل را تغییر می‌دهند و زمان کوتاه فیزیولوژیکی تولید مثل ملکه را به ریتمی یکساله افزایش می‌دهند. این دستکاری زنبورهای عسل را قادر می‌سازد که ریتم بچه‌دهی خود را با آنچه در حیوانات اتفاق می‌افتد، تنظیم کنند. تقسیم کلنی زنبورعسل به کلنی‌های دختر در سطح کل کلنی صورت می‌پذیرد و منجر به سیکل متفاوت و ساده‌تری نسبت به موجودات با زندگی اجتماعی می‌شود. کلنی مرحله تک‌سلولی را نادیده گرفته و حتی یک مرحله رشد واقعی هم نشان نمی‌دهد. فقط بزرگی جمعیت کلنی تغییر می‌کند که تحت تأثیر افزایش و کاهش تعداد زنبوران آن در طول فصل‌ها می‌باشد. در بهار حدأکثر اعضاء را دارا می‌باشد، با بچه دهی در اوایل تابستان جمعیت کاهش یافته و در طول زمستان نیز زنبورها می‌میرند. در اصل، کلنی در هر زمانی قادر به تقسیم شدن می‌باشد اگرچه آمادگی‌های خاصی قبل از این کار لازم است.



تصویر ۷ - ۲: در شرایط اضطراری، شاخون‌های ملکه در قسمت پرورش نوزادان ساخته می‌شود.

چرا دیگر حیوانات پرسلولی اینگونه عمل نمی‌کنند؟ چرا آنها مانند موجودات تک‌سلولی تقسیم نمی‌شوند؟ تمایز و تکامل موجودات پر سلولی از مرحله تک سلولی با یک پروسه پیچیده آغاز می‌گردد. تقسیم کردن و بقای این سلولهای به شدت تخصص یافته هیچ شباهتی به تقسیم فیزیکی در کندوی زنبورها ندارد. در واقع این ژنتیک است که خصوصیات کلی این چهار مرحله چرخه زندگی را تعیین می‌کند. همانگونه که تا بحال توضیح دادیم، تولید مثل از طریق روش های جنسی تنوع را در جمعیت بالا برده که این هم یکی از ضروریات نظریه تکاملی داروین است. بر خلاف جنسیت و تخصص یافتگی برخی سلول‌ها در بدن موجودات چند سلولی مرگ برای تمامی سلول‌های بدن وجود دارد. تقسیم کار در سلولهای جنسی و سلولهای بدنی که در موجودات پرسلولی یافت می‌شود، بیانگر وجود مرگ در مراحل زندگی است که از روی تصادف و بدشانسی بوجود نیامده است بلکه برنامه‌ریزی شده و یک اصل کلی است.

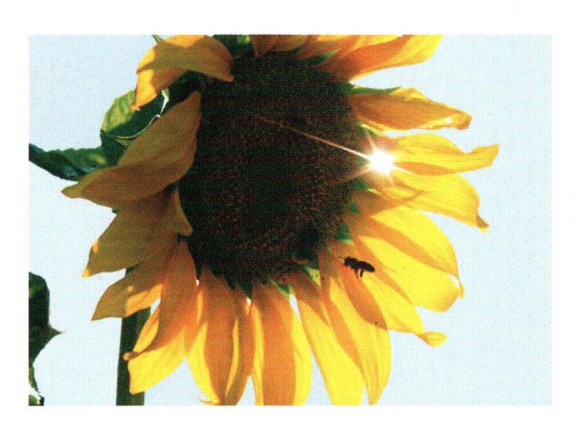
زنبورهای عسل ایده‌آل‌ترین راه را برای خودشان در عرصه پر زحمت تکامل پیدا کرده‌اند. آنها توانسته‌اند به یک مزیت بدون از دست دادن دیگری دست یابند و آن تولید یک کلنی کامل با یک تقسیم ساده است (روند بچه‌دهی). آنها همزمان با روند سیکل تقسیم، افرادی را پرورش می‌دهند که قابلیت تولید مثل داشته و با این کار از تنوع ژنتیکی بوجود آمده بخوبی محافظت می‌کنند. زنبورهای عسل مانند سایر حیوانات و گیاهانی که تولید مثل جنسی دارند به نحوه مؤثر و کارآمدی شجره سلول‌های جنسی خود را حفظ کرده و ادامه می‌دهند(تصویر ۱ . ۱). برخلاف سایر حیوانات پرسلولی، آنها شجره سلول‌های جنسی خود را بصورت فناناپذیری در کلنی یک سوپر ارگانیسم پایدار، حفظ می‌کنند. استراتژی تولید مثل از طریق تقسیم کلنی سیکل زندگی را ساده نموده و بقا را ممکن می‌سازد. تقسیم دو تایی که در ساده‌ترین شکل حیات یعنی موجودات تک‌سلولی یافت می‌شود نیز یکی از اصول بقا بوده که در سوپرارگانیسم‌ها بسیار پیچیده می‌شود.



تصویر ۸ - ۲: این گروه بچه زنبور پس از جدا شدن، جایی را برای پناه گرفتن از طوفان پیدا نکردند.

بقا و مرگ

به عنوان انسان، ما به اجدادمان که پایه‌گذار شهرهایمان که دارای تاریخی هزاران ساله است، افتخار می‌کنیم .اگرچه قدمت خانه‌ها و خیابانها به اندازه قدمت شهرنشینی انسانها نیست ولی ساکن شدن و اشغال مکان‌های جغرافیایی به عنوان واحدهای مسکونی در طول تاریخ ادامه یافته است. کلنی زنبورهای عسل نیز از این چنین رویه‌ایی پیروی می‌کنند.



تصویر ۹ . ۲: عسل در واقع منبع انرژی خورشیدی در تاریکی کندو است. انرژی خورشیدی توسط گیاهان گرفته شده و در فرآیندهای شیمیایی تبدیل به قندهای درون شهد می‌شود. زنبورهای عسل شهد را به آشیانه برده و این انرژی خورشیدی را به عنوان عسل ذخیره می‌کنند.

کلنی زنبورها به طور مداوم افراد خود را جایگزین می‌کند. زنبورهای کارگر بسته به فصل هر ۴ تا ۱۲ هفته و ملکه‌ها هر ۳ تا ۵ سال جایگزین می‌شوند. زنبورهای نر نیز فقط ۲ تا ۴ هفته زنده مانده و همانند کارگران زندگی کوتاهی دارند. در یک کلنی با حدود ۵۰۰۰ زنبور و با میزان مرگ و میر روزانه ۵۰۰ زنبور و جایگزینی ۱٪ ، ظرف ۴ ماه کل کلنی به غیر از ملکه جایگزین شده و کلیه اعضاء آن کلنی تجدید می‌شوند. این تغییرات متوالی در مشخصه ژنتیکی کلنی تغییری ایجاد نمی‌کند. اگرچه ویژگی‌های ژنتیکی کلنی زمانی تغییر می‌کند که ملکه جدید تخمگذاری نماید و این اولین گام در آغاز تدریجی مرگ ژنتیکی است. تخمک‌های ملکه جدید همراه با اسپرم زنبورهای نری که با آنها جفت‌گیری نموده، خواص ژنتیکی جدید را بگونه‌ایی تعیین می‌کنند که در تمام فرزندان آنها وجود داشته و این فرزندان به تدریج جایگزین زنبورهای اصلی می‌شوند. این تغییرات بطور معمول زمانیکه ملکه جدید پرورش می‌یابد و بچه‌دهی صورت می‌گیرد، روی می‌دهد. این تغییرات همچنین در زمان اضطرار مثل زمانی‌که ملکه بطور تصادفی بمیرد نیز روی می‌دهد. در این زمان کلنی از لاروهای موجود یک ملکه جدید را پرورش می‌دهد(تصویر ۷ . ۲). حتی کلنی به عنوان پشتیبانی، اجازه جایگزین شدن ملکه پیر و ناکارآمد با یک ملکه جوان که تازه جفتگیری نموده را می‌دهد. این ملکه جوان جفت‌گیری نموده و اسپرم‌های جدیدی را با خود به کلنی به همراه خواهد آورد. یک کلنی زنبورعسل در یک مکان خاص مستقر بوده و سالانه از طریق بچه‌دهی ملکه و ظاهر ژنتیکی خود را تغییر می‌دهد. پتانسیل جاودانگی کلنی‌هایی که تازه به یک منطقه وارد شده و یا آنانی

که هنوز مکان مناسبی برای تأسیس کلنی پیدا ننموده‌اند مشکل‌ساز است. اگر چه در یک تحقیق این چنین اتفاقی روی نداد. بیماری‌ها، انگل‌ها، غارتگران، قحطی غذا، کمبود آب یا بلاهای ناگهانی مثل آتش‌سوزی جنگل، تأثیرات تنظیم کننده‌ایی دارند و با از بین بردن کلنی‌های بالقوه فناناپذیر جا را برای تازه واردین باز می‌کنند. در این شرایط شانس بقای بچه زنبوری که کلنی مادری را ترک نموده بسیار بالا است. اگر بچه زنبور ثانویه بسیار ضعیف بوده و یا اینکه با آب و هوای نامساعد مواجه شود، نخواهد توانست کلنی خود را تأسیس نماید (تصویر ۸ -۲). با این حال آن دسته از بچه زنبورها که در اولین فصل زنده مانده‌اند، شانس بسیار زیادی برای ادامه بقاء خواهند داشت.

سازماندهی مواد و انرژی

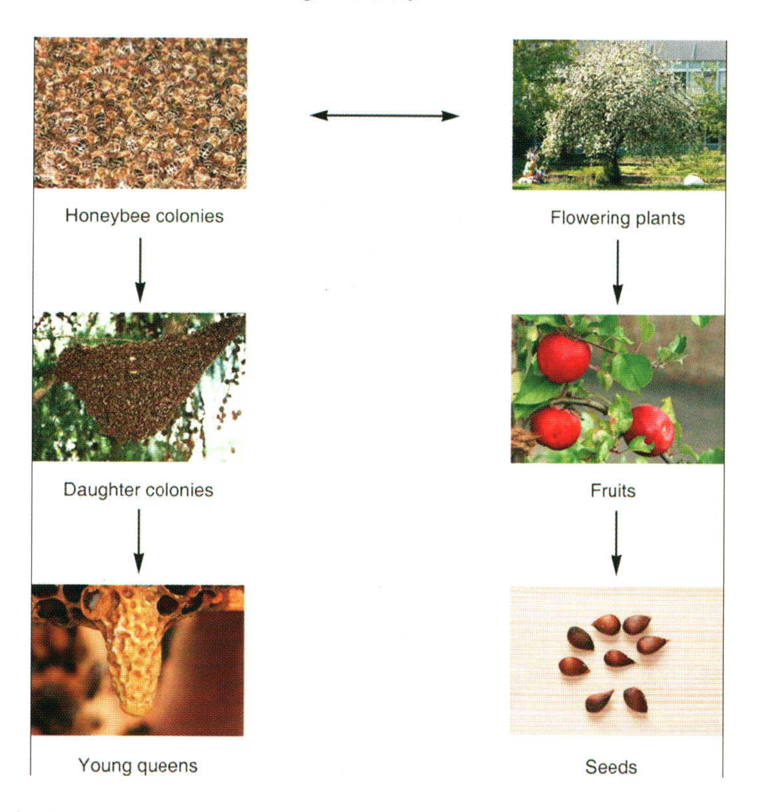
جدا شدن آرام اما پیوسته،کلنی‌های دختری کاملاً کارآمد، اما هزینه‌هایی برای کلنی اصلی به همراه دارد. تولید کلنی‌های دختر به عنوان یک وظیفه فرعی نبوده بلکه کل بیولوژی زنبورعسل بر جمع‌آوری انرژی و مواد از محیط و دستکاری آن برای تولید کلنی‌های دختری با کیفیت خیلی بالا تمرکز یافته است. این نکته یک کلید اساسی برای درک ماهیت توانایی و کارآیی زنبورهای عسل می‌باشد.

زنبورهای عسل به منظور زنده ماندن انرژی و مواد را برای خود جمع‌آوری نموده و از کلنی‌های خود محافظت می‌کنند و در نهایت خود را برای تقسیم سالانه آماده می‌سازند.

زنبورهای عسل چگونه این جریان انرژی و مواد را در کندو مدیریت می‌کنند؟

زندگی بر روی کره زمین تماماً بستگی مستقیم به خورشید دارد. گیاهان بوجود آمدند که قابلیت جمع‌آوری و متمرکز نمودن انرژی خورشیدی و استفاده از آنرا برای تولید مواد آلی دارند.

مواد تولید شده توسط گیاهان و انرژی ذخیره شده در آنها، نهایتاً توسط حیوانات مصرف می‌شود. این نکته بویژه برای بقای کلنی‌های زنبور و تولید کلنی‌های دختری نیز صدق می‌کند و بدین منظور زنبورهای عسل کاملاً به گیاهان گلدار وابسته‌اند(تصویر ۹ . ۲). اینطور نیست که فقط زنبورها از گیاهان گلدار بهره ببرند بلکه گیاهان گلدار و زنبورها در اعمال خیلی مهمی که همانا تولید مثل می‌باشد از یکدیگر حمایت می‌کنند. زنبورهایی که گل‌ها را ملاقات می‌کنند گرده را از گلی به گل دیگر انتقال می‌دهند و در نهایت به تولید مثل گیاهان و تولید میوه‌های حاوی بذر آنها کمک می‌کنند. کلنی‌های دختر در واقع "میوه" کلنی زنبورعسل می‌باشد و تولید آن بستگی به میزان برداشت شهد و گرده دارد. در یک مقایسه بسیار ساده و واضح با گیاهان افراد باروی که در کلنی‌های دختری وجود دارد، " دانه" زنبورهای عسل محسوب می‌شوند.



تصویر ۱۰ - ۲ : بیولوژی کلنی‌های زنبور و خیلی از گیاهان گل‌دار به شدت بهم آمیخته است. کلنی‌های زنبور، کلنی‌های دختری با ملکه‌های جوان تولید می‌کند که دارای گامت‌های ماده هستند. گیاهان گلدار، میوه تولید می‌کنند که حاوی دانه است. جریان بدون وقفه مواد غذایی و انرژی از گل‌ها به کندو، کلنی را قادر می‌سازد که بطور متوالی ذخایر خود را جایگزین نماید.



۳ زنبور عسل الگویی برای موفقیت

اگرچه زنبورهای عسل گروه کوچکی از حیوانات را تشکیل می‌دهند اما تأثیرات زیادی را بر محیط زیست دارند.

تنوع گونه‌ای زنبورهای عسل به شکل قابل توجهی محدود می‌باشد. تنها ۹ گونه از جنس آپیس (*Apis*) شناخته شده است که این‌ها همراه زنبورهای بامبوس (Bumble bees) در خانواده زنبورهای حقیقی (Apidea) قرار گرفته‌اند. هشت گونه از زنبورهای عسل در آسیا زندگی می‌کنند در حالی‌که تنها گونه آپیس ملیفرا (*Apis mellifera*) در دو قاره اروپا و آفریقا (همچنین در آسیا، اقیانوسیه، آمریکای شمالی و آمریکای جنوبی) حضور دارد. این‌ها نژادهایی را تشکیل می‌دهند که می‌توانند با یکدیگر اختلاط و تولیدمثل کنند. زنبورعسل *Apis mellifera* به صورت ثانویه توسط انسان‌ها در سراسر جهان پخش شده است.

تنها یک گونه مطالعه شده در دو قاره، تصویر یک گروه ناچیز ناموفق را ترسیم نموده است. این یک اشتباه است که زنبورهای عسل را بخاطر تنوع گونه‌ایی بسیار اندک به عنوان یک گروه بی‌اهمیت در نظر بگیریم. می‌بایست این نکته را نیز در نظر بگیریم که چگونه یک گروه با تنوع گونه‌ای بسیار کم همانند انسان در سرتاسر کره خاکی پراکنده شده و زیست می‌کند. نقش انسان و زنبورهای عسل از نقطه نظر طبیعت و گستردگی وظایفشان قابل مقایسه است. بدین صورت که زنبورهای عسل نقش بسزایی در غالب شدن زندگی گیاهی و بخصوص گیاهان گلدار در سطح کره زمین ایفا می‌کنند.

از انهدام تا گرده‌افشانی آرام

گیاهان گلدار حدود ۱۳۰ میلیون سال است که روی زمین حضور دارند. ابتدا تنها باد در گرده‌افشانی و جابجایی گامت‌های جنسی گیاهان نقش داشت. این مکانسیم به دلیل میزان گرده مورد نیاز فراوان و عدم گرده افشانی صحیح و وابستگی کامل به قدرت جریان هوا، کارآئی چندان زیادی نداشت.



تصویر ۱ - ۳: علی‌رغم تنوع بسیار زیاد گیاهان گلدار گونه‌های محدوی از زنبورهای عسل وظیفه گرده‌افشانی آنها را بر عهده دارند.

شناسایی گرده بعنوان یک منبع مغذی پیشرفت مهمی بود که توسط حشرات انجام شد. حشرات، گرده روی بساک گل‌ها را می‌بلعیدند(تصویر۲ . ۳) با تغذیه از بساک چند گل، گرده کافی از بساک یک گیاه به پرچم گیاه مجاور منتقل می‌گردید که این رویه تا زمان حاضر نیز توسط سوسک‌های گرده‌خوار گل رز به کار گرفته می‌شود.

از دیدگاه یک گیاه، این روش مطمئن و رضایت‌بخشی در انتقال گرده بین شکوفه‌ها می‌باشد اما به شرطی که هیچ آسیبی به همراه نداشته باشد. بعد از دوره تکامل، زنبورهای عسل و گیاهان گلدار به ارتباط تنگاتنگ با یکدیگر دست یافتند. کریستن کونارد اسپرنگل اولین کسی بود که سال ۱۷۹۳ در یک کتاب جالب به این رابطه اشاره نمود. وی عنوان کتاب خود را " رازهای کشف شده از طبیعت ساخت و باروری در گیاهان" نام گذاری نمود. آنقدری که اکنون ما اسپرنگل را به خاطر بینشش تحسین می‌کنیم، خود وی از آن بهره ای نبرد. نظریاتش به کلی توسط دنیای پیشرفته رد شده است. زیرا در مورد تولید مثل جنسی گیاهان عقاید جسورانه‌ایی داشت. بر اساس نوشته‌های اسپرنگل، چارلز داروین در سال ۱۸۶۰ تحقیقی را انجام داد. وی گیاهان گلدار را با تورهایی که مانع از نزدیک شدن حشرات گرده‌افشان به آنها می‌شد، پوشاند و مشاهده نمود که گیاهانی که پوشیده شده‌اند در مقایسه با گروه شاهد که پوشیده نشده بود، نتوانستند میوه تولید نمایند.

تکامل سیستم گرده‌افشانی در گیاهان گلدار وابسته به حشراتی است که در بین پیشنهادهای مختلف، آن‌ها را انتخاب می‌کنند. درست مانند یک فروشگاه، گیاهان گلدار برای بدست آوردن مشتری با یکدیگر رقابت می‌کنند.

گیاهان از نظر خصوصیات کمی و کیفی شهدی که به بازدیدکنندگان (حشرات) عرضه می‌کنند، متفاوت هستند. ترکیبات گرده هم از یک گل به گل دیگر متفاوت است. حتی دمای شهد نیز ممکن است از معیارهای مهم در کیفیت گیاه ملاقات شده باشد. زنبورهای مخملی (تصوی ۳ . ۳) نهایتاً گیاهان با شهد گرم را ترجیح می‌دهند زیرا گرمای فیزیکی و انرژی مورد نیاز را به شکل مواد کربوهیدراته مستقیماً بدست می‌آورند. گمان می رود که ا گر به زنبورهای عسل هم قدرت انتخاب شهد در دماهای متفاوت را بدهیم، آن‌ها هم مانند زنبورهای مخملی (bumble bee) شهد گرم را ترجیح خواهند داد. بسیاری از گل‌ها به منظور جذب زنبورها روی حواس بینایی و بویایی آنها تمرکز نموده‌اند. ضرورت جذاب بودن پیشنهادات ارائه شده به زنبورها زمانی افزایش می‌یابد که تمام گیاهان رقیب در یک زمان معینی که حشرات دنبال آذوقه می‌گردند، گل دهند. آن چیز جذابی که زنبورهای عسل با قابلیت‌های ذهنی و قدرت تفکیکشان قادر به شناسایی آن هستند، چیست؟ در فصل ۴ با جزییات بیشتر به این موضوع می‌پردازیم.

با پیدایش حشرات گرده‌افشان که خسارت کمتری ایجاد می‌کنند، گیاهان محل تولید گامت‌های جنسی خود را به قسمت‌های پوشش‌دار گلهایشان جابجا نمودند تا از این قسمت و محصولات تولیدی در برابر باد، آب و هوای نامساعد و حشراتی که صرفاً از گرده تغذیه می‌کنند، محافظت نمایند. بنابراین گل‌ها دارای ظاهر و بوی نامتعارفی شدند تا به شدت حشراتی را که خواهان آنان هستند را جلب کنند.

زنبورعسل مهمترین حشره گرده‌افشان در بیشتر نقاط گلدار جهان است اما نه بدان معنی که آنها تنها حشراتی هستند که در گرده‌افشانی نقش ایفاء می‌نمایند. مگس‌ها، پروانه‌ها، سوسک‌ها و سایر بال‌غشاییان مانند زنبوران انفرادی، زنبورهای شکارچی، زنبورهای عسل مخملی و حتی مورچه‌ها می‌توانند گیاهان را گرده‌افشانی کنند. گرچه دیگر گرده‌افشانان به اندازه زنبورهای عسل مؤثر نیستند، اما تعداد کمی گل وجود دارد که برای گرده‌افشانی به گونه‌های خاصی از حشرات وابسته هستند. بطور کلی ۸۰٪ از گیاهان گلدار موجود در جهان توسط حشرات گرده‌افشانی می‌شوند که در بین حشرات ۸۵٪ از موارد، زنبورهای عسل نقش اصلی را ایفا می‌کنند.



تصویر ۲ - ۳: سوسک‌های گرده‌خوار گل سرخ جزو حشراتی هستند که از گل‌ها تغذیه می‌نمایند. قبل از چیدن بساک این سوسک‌ها توسط قسمت سر ملاقه مانند خود، بساک‌ها را در کنار یکدیگر قرار داده و در حد امکان از آنها تغذیه می‌کنند..

بیش از ۹۰٪ درختان گلداری که میوه تولید می‌کنند به زنبورهای عسل وابسته‌اند. لیست گیاهان گلداری که توسط زنبورعسل گرده‌افشانی می‌شوند شامل ۱۷۰ هزار گونه می‌باشد. تعداد گونه‌های گیاهان گلداری که به زنبورهای عسل کاملاً وابسته‌اند و بدون آنها دچار مشکل می‌گردند، حدود ۴۰۰۰ تخمین زده می‌شود. این دریای جهانی گل فقط توسط ۹ گونه که برای اکثر گیاهان گل‌دار حیاتی می‌باشند، گرده‌افشانی می‌شوند(در اروپا و آفریقا تنها توسط یک گونه زنبورعسل). این اختلاف تعداد مابین گیاهان گلدار و گرده‌افشانها بسیار قابل توجه بوده و این نکته را تداعی می‌کند که زنبورهای عسل آن قدر در این زمینه موفق بودند که جایی برای دیگر رقبا باقی نگذاردند. این جهانی شدن و انحصار طلبی در دنیای حیوانات می‌باشد و براستی کلنی‌های زنبورعسل با تلاش زیاد خود می‌توانند از رقبایشان پیشی گیرند. یک کلنی زنبورعسل، بیش از چندین میلیون گل را در یک روز کاری ملاقات نموده و این بدان دلیل است که زنبورها در مورد مکان های جدید گل‌ها به یکدیگر اطلاع می‌دهند و بنابراین می‌توانند با سرعت تمام گل‌ها را ملاقات نمایند. به ندرت شکوفه‌ایی باقی می‌ماند که به آن مراجعه نشده باشد. زنبورهای عسل به صورت گروهی فعالیت می‌کنند و به هرنوع گلی سر می‌زنند. بنابراین همه گل‌ها از شانس برابری برای بازدید شدن توسط زنبورها برخوردارند.



تصویر ۳ - ۳: عکس با دوربین حرارتی، یک زنبور مخملی را در حال جمع‌آوری شهد از یک گل نشان می‌دهد. زنبورهای مخملی و احتمالاً زنبورهای عسل گل‌های با شهد گرم را ترجیح می‌دهند.

حجم وسیعی از گل‌های بازدید شده، تحریک سریع تعداد قابل توجهی از زنبوران جمع‌آوری کننده شهد و گرده، قدرت سازگاری تعداد زیادی از تک تک زنبوران عسل و به دنبال آن تمام کلنی به تغییر مکرر مکان گل‌ها در محیط، از زنبورهای عسل شریک بسیار خوبی برای گیاهان گلدار ساخته است. گیاهان گلدار هر چه در توان دارند انجام می‌دهند که برای زنبورهای عسل جذاب باشند. از دست دادن گرده در بازدید حشرات امر جدیدی برای گل‌ها نیست اما زنبورها در این زمینه مهربان‌تر عمل می‌کنند. زیرا گرده به راحتی به موهای ضخیم سطح بدن زنبورها می‌چسبد(تصویر ۴ . ۳).

این حمل کنندگان گرده قابل اطمینان و با ملاحظه، گل‌ها را قادر می‌سازند که گرده کمتری را نسبت به آنهایی که به باد یا سوسک‌های گل‌خوار وابسته‌اند، تولید نمایند.

بخاطر اینکه گیاهان تولید گرده را به حداقل رساندند، در طول تکامل زنبورها به تجهیزات کارآمدی مجهز شدند که آنها را قادر می‌سازد که حتی گرده‌های کمیاب را بخوبی جمع‌آوری و انتقال دهد. پاهایی جلویی، میانی و عقبی زنبورعسل با یکدیگر هماهنگ بوده و محل مناسبی را برای جمع‌آوری اتوماتیک گرده فراهم می‌کنند. در پایان کار، یک توده بزرگ گرده به فرورفتگی واقع در ناحیه سبد گرده هریک از پاهای عقبی چسبیده است. این توده بسیار متراکم بوده و توسط موهای ضخیم حاشیه ساق پاهای عقبی احاطه شده است. (تصویر ۵ . ۳)

وسوسه شیرین

به همراه فرایند تکامل گل‌ها، زنبورهای عسل تنها برای انتقال گرده تخصصی سرخس‌ها خیلی قبل‌تر از گیاهان گلدار در کره زمین حضور داشتند اما گیاهان گلدار به عنوان محصول جانبی فتوسنتز مایعات شیرینی را در حجم عظیم تولید می‌نمایند. این خاصیت در گیاهان گلدار نیز وجود دارد و آنها ضمن فعالیت رشد و نمو خود، شهد تولید می‌کنند که توسط زنبورها مصرف می‌شود (تصویر ۶ . ۳).



تصویر ۴ - ۳: مقدار زیادی از گرده‌های ارزشمند به موهای بدن زنبورهای عسل می‌چسبد.



تصویر ۵ - ۳: گرده جمع آوری شده و در سبد گرده پاهای عقبی زنبور فشرده می‌شوند تا زنبور برای پرواز بازگشت به کندو مهیا شود. زنبورهایی که از فعالیت گرده جمع کردن باز می‌گردند، ۱۵ میلی‌گرم گرده به همراه دارند. از این طریق یک کلنی زنبور در حدود ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم گرده خالص در یک سال جمع‌آوری کرده و به کندو می‌آورد.

برای بهره‌برداری از این منبع غذایی جذاب قسمت دهان و بخشی از دستگاه گوارش زنبورهای عسل تکامل یافته است. این بخش از دستگاه گوارش به شکل منبع ذخیره‌ایی عمل می‌کند و در زنبوری که ۹۰ میلی‌گرم وزن دارد می‌تواند ۴۰ میلی‌گرم شهد را جا بجا کند (یعنی در حدود نیمی از وزن بدن). محتویات این منبع ذخیره(عسلدان) جزء دارایی‌های معمول کلنی محسوب می‌شود. زنبورها به بخش کوچکی از شهدهایی که جمع‌آوری کردند نیاز دارند که از طریق دریچه کوچکی که بین عسلدان و روده میانی است عبور داده می‌شود.

گل‌ها هرچه در توان دارند انجام می‌دهند تا زنبورها را جذب کنند. یک شکوفه گیلاس روزانه ۳۰ میلی‌گرم شهد تولید می‌کند که در یک درخت کامل گیلاس حدوداً ۲ کیلوگرم می‌شود. مقدار شهدی که یک زنبور کارگر در یک پرواز می‌تواند به کندو بیاورد حدود ۴۰ میلی‌گرم می‌باشند یعنی حدوداً همان مقداری که یک شکوفه گیلاس تولید می‌کند. هر شکوفه سیب ۲ میلی‌گرم شهد تولید می‌کند. بنابراین عسلدان یک زنبور می‌تواند تولید ۲۰ روزه یک شکوفه سیب را در خود جای دهد. البته این نکته را نیز باید در نظر گرفت که لازم است تا زنبورهای عسل برای پرکردن عسلدان خود تنها ۲ شکوفه گیلاس یا ۲۰ شکوفه سیب را

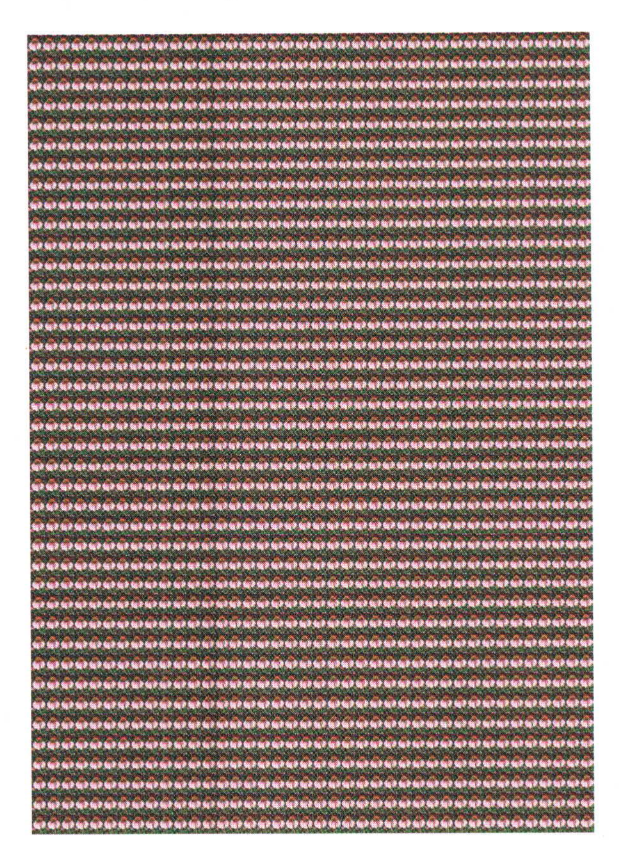
ملاقات نمایند. در هر بار مراجعه به گل‌ها زنبور فقط می‌تواند آن بخش کوچکی از تولید روزانه که در آن زمان در دسترس است را برداشت کند. به طور تقریبی در هر روز یک زنبور به ۳۰۰۰ گل سرکشی می‌کند(تصویر ۷ . ۳).



تصویر ۶ - ۳: به ندرت زنبور کارگری یافت می‌شود که همزمان گرده و شهد جمع‌آوری کند. یک قطره بزرگ شهد در قسمت دهانی آن قرار دارد که پس از بلع به عسلدان منتقل می‌شود. در کندو شهد مخلوط شده با آنزیم‌ها مجدداً از عسلدان بیرون آورده شده و تحویل زنبورهای دریافت کننده می‌شود تا در سلول‌های شان‌ها ذخیره شود.

این بدین معنا نیست که روزانه ۳۰۰۰ سفر بین منبع غذایی و کندو انجام می‌شود، بلکه در هر پرواز زنبور کارگر به گل‌های زیادی سرکشی می‌کند و اگر در هر بار مراجعه گل‌ها شهد کمی داشته باشند، زنبور کارگر مجبور است که به تعداد زیادتری گل سرکشی کند.

گل‌ها منبع پایان‌ناپذیری از شهد را در اختیار زنبورها قرار نمی‌دهند. تولید شهد در واقع استراتژی در جهت تطمیع زنبورها است و این هزینه‌ای است که گیاهان می‌پردازند. از دیدگاه گل‌ها تولید تدریجی شهد کارآیی بسیار بیشتری دارد بخاطر اینکه باعث می‌شود زنبورها به طور مداوم به آنها سرکشی کنند و هرچه دفعات سرکشی بیشتر باشد، گرده‌افشانی کارآمدتر می‌شود. با این روش گیاهان با کمترین تولید شهد بیشترین استفاده را می‌برند. با این وجود، گل‌ها نمی‌توانند خیلی صرفه‌جویی کنند زیرا ممکن است گیاهان رقیب بازدیدکنندگان آنها را به خود جلب کنند.



تصویر ۷ - ۳: یک مثال از گل‌هایی که یک زنبور در نصف روز سرکشی می‌کند، یک زنبور می‌تواند تا ۳۰۰۰ گل را در یک روز کاری سرکشی کند. اگر چه خیلی از آنها در پروازهای کوتاه مدت سرکشی می‌شود و شهد کافی هم ندارند.

زنبورهای عسل کوشا(ماهر)

زنبورهای عسل می‌بایست مکان راحت و امن خود را در کلنی برای انجام جفت‌گیری ها و بیشتر اوقات برای جمع‌آوری مواد و انرژی از محیط، ترک کنند. زنبورهای کارگر یک کلنی وظیفه پروازهای شناسایی را به عهده دارند و شبکه‌ایی را تشکیل می‌دهند که اطراف آشیانه را کاملاً پوشش دهد. هر گل در دسترس توسط این شبکه نامرئی شناسایی می‌شود.

وجود زنبورهای عسل برای بیشتر گیاهان گلدار به این معناست که نیازی به وابستگی به سایر حشرات ندارند. از لحاظ تئوریک اگر حداکثر مسافت طی شده توسط یک زنبور ۱۰ کیلومتر در یک پرواز مستقیم تخمین زده شود. یک کلنی زنبورهای عسل مساحتی در حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع اطراف کندو را پوشش می‌دهند. تنها زنبورهایی که ذخائر انرژی کلنی آنها کاملاً از عسل سرشار است و حداکثر نیاز به جمع‌آوری شهد را دارند، می‌توانند مسافت ۱۰ کیلومتری را پرواز کنند. در طی این چنین مسافت طولانی مقدار انرژی مصرف شده با میزان

انرژی بدست آمده برابری می‌کند. زنبورهای کارگر در بیشتر پروازها بین ۲ تا ۴ کیلومتر اطراف کندو را پوشش می‌دهند. از لحاظ اقتصادی این مسافت طی شده برای زنبوران قابل تحمل است. در این مورد عسل به عنوان سوخت برای تأمین انرژی مصرف شده و در حقیقت انرژی مورد نیاز را از شهد آورده شده به کندو تأمین می‌نمایند. مدت زمان جمع‌آوری شهد و گرده بیشتر زمان زندگی زنبورعسل کارگر را تشکیل می‌دهد. در یافته های اخیر محققین مرحله خواب زنبورهای کارگر در دوره جمع‌آوری شهد و گرده توضیح داده شده است(تصویر ۸ . ۳). زنبورهای کارگر جوان مدت کمتری می‌خوابند و خواب آنها ریتم شبانه‌روزی ندارد. کارگرهای جمع‌آوری کننده شهد و گرده هم طولانی‌تر و هم در طول شب می‌خوابند. به طور معمول زنبورها در کندو می‌خوابند اما گاهی اوقات خواب زنبورهای چرا رو در خارج از کندو نیز مشاهده می‌شود(تصویر۹ . ۳). از مشخصات زنبورهای در حال استراحت می‌توان به کاهش انقباضات عضلات، آویزان بودن رو به پایین شاخک‌ها و جمع بودن پاها در زیر بدن اشاره نمود. پاسخ اینکه چرا زنبورهای کاگر همانند سایر موجودات نیاز به خواب دارند، بسیار دشوار است. اما فعالیت‌های بدنی کارگران در خارج از کندو می‌تواند پاسخی واضح برای این پرسش باشد.

هیچگاه گل‌ها در همه مواقع و مکان‌هایی که در قلمرو کندو قرار دارد، در دسترس نیستند. بسته به موقعیت جغرافیایی منطقه گل‌ها یا فصلی بوده (یعنی در زمان خاصی همه جا حضور دارند) و یا در تمام سال حضور دارند ولی در مکان‌های خاص تجمع می‌نمایند.

وفور فصلی گل‌ها بر روی زنبوران مناطق مرتفع و معتدل و گل‌های دائمی بر روی زنبورهای مناطق استوائی تأثیرگذار هستند. صرف نظر از طبیعتی که در آن زندگی می‌کنند، کشف منابع موجود زنبورهای عسل را با مشکلات خاصی همراه کرده است. ظهور محدود گل‌ها در مکان‌ها و زمان‌های خاص، نوعی رقابت قابل توجهی را در کلنی‌های موجود در یک مکان بوجود آورده است. این شرایط در درختان گل‌دهنده استوایی وجود دارد. زنبورها این درختان را در تمام سال می‌یابند،صرف نظر از اینکه گاها" فاصله بین دو منبع غذایی از همدیگر بسیار دور می باشد. زنبورهای عسلی که در این شرایط قرار می‌گیرند از استراتژیهای خاص جمع‌آوری شهد و سیستم‌های ارتباطی هوشمندانه‌ایی استفاده می‌نمایند.



تصویر ۸ - ۳: زنبورهای کارگری که هنگام شب در ناحیه امنی از حاشیه شان در حال استراحتند.



تصویر ۹ - ۳: گاها" می‌توان یک زنبور کارگر را در حال خواب در محیط بیرون یافت کرد.

هنگامی که زنبورها از مناطق استوایی به عرض‌های جغرافیایی معتدل پراکنده شدند، آنان کاملاً آمادگی استفاده کارآمد از ذخائر گل‌های موجود را پیدا نمودند. کلنی زنبورها قابلیت این را پیدا کرده که تعداد مناسبی از زنبورهای کارگر را در جهات مناسب که گل‌ها حضور دارند، نسبت به میزان تولیدات گل‌های منطقه، گسیل دارند. تمام منابع جذاب و مثمرثمر حتی منابع کم تولید به طور مستمر مورد بازرسی قرار می‌گیرند ولی منابع تهی به هیچ وجه سرکشی نمی‌شوند.

چه مقدار و کجا؟

اگر انسان‌ها می‌خواستند میزان برداشت گرده و شهد در دسترس خود را به حداکثر برسانند، می‌بایست نیروی کاری خود را به طور مناسبی در جاهایی که منابع حضور دارد توزیع نمایند استراتژی آن وابسته به اطلاعات وسیعی است که راجع به میزان تولید این منابع در دسترس

دارند. شرایط هم مدام در حال تغییر است بنابراین به روز شدن اطلاعات ضروری است. نکته دیگری که باید توجه شود میزان ذخائر موجود در کندوها است بطوریکه وقتی آنها پر باشند، نیاز کمتری به جمع‌آوری وجود خواهد داشت.

تعداد زنبورهایی که به عنوان افراد جمع‌آوری کننده شهد و گرده در نظر گرفته می‌شوند بسیار متغیر است. این زنبورها به دو گروه شهد جمع‌کن و گرده‌جمع کن تقسیم می‌شوند. در واقع تعداد کمی از کارگرها و (حداکثر۱۵٪) به طور همزمان به جمع‌آوری شهد و گرده می‌پردازند(تصویر ۶ . ۳). معمولاً بیشتر زنبورهای عسل مشغول جمع‌آوری شهد یا گرده می‌باشند.

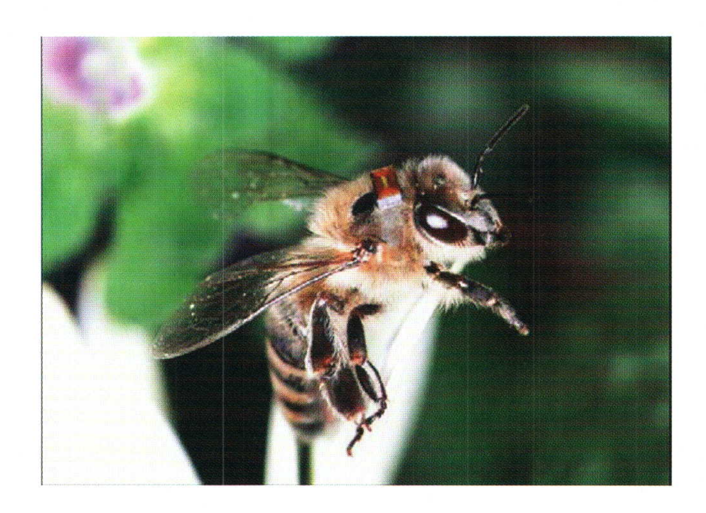
هیچ زنبوری در کلنی وظائف مربوط به عرضه و تقاضا را انجام نداده بلکه مسئولیت بخشی از وظایف محوله را برعهده می‌گیرد. با این وجود، در مشاهدات و مطالعات انجام شده، این نتیجه بدست آمده که کلنی، زنبورهای کارگر خود را به خوبی در محیط پراکنده می‌کند. این کار چگونه انجام می‌شود، زمانیکه هیچ‌یک از اعضای کلنی کمترین تصوری از موقعیت موجود ندارند؟

پاسخ در غیر متمرکز کردن مکانیزم توزیع خودسازماندهی نیروی کار نهفته است. غیرمتمرکز کردن بدین معناست که هیچ قوای هدایت کننده‌ایی دستور انجام امور را نمی‌دهد. مکانیزم توزیع خودسازماندهی نیروی کار نیز الگویی است که در آن ارتباط بین افراد، آرایش توزیع نیروی کار را مشخص می‌کند. این سیستم ارتباطی کلی هرگونه تغییر کوچکی که در محیط پیرامون رخ دهد را منتقل می‌کند. کلنی زنبور عسل دارای شبکه اطلاعاتی به وسعت چند صد کیلومتر مربع است که هرگاه به منبع با ارزشی برخورد شود بر روی آن متمرکز خواهد شد.

زنبورهای عسل دیده‌بان، ۵ تا۲۰٪ زنبورهایی که به خارج از کلنی پرواز می‌کنند را تشکیل می‌دهند و بطور مستمر به دنبال منابع جدید غذایی می‌گردند و اطلاعاتی که بدست می‌آورند را با سایر اعضای کلنی به اشتراک می‌گذارند.

احتیاجات یک کلنی با نیازهای خیلی زیاد به تنهایی با افزایش فعالیت زنبورهای کارگر در حال کار، برآورد نمی‌شود. پتانسیل کاری هر یک از زنبورها نیز به یک اندازه نمی‌باشد. زنبورهای کارگر که متوسط یک تا سه سفر در روز دارند تنبل محسوب شده و از آن طرف زنبورهای عسل پرکار بیش از ده سفر در روز انجام می‌دهند. تفاوت شخصیت هر یک از اعضای کلنی تنها در مشاهده طولانی مدت رفتار آنها قابل درک است. با اتصال یک میکروچیب شناسایی به ناحیه پشت قفسه سینه هر زنبور متولد شده در کلنی می‌توان رفتار آنها را در تمام زندگی‌اش تحت نظر قرار داد (تصویر ۱۰ . ۳). تمام خصوصیات رفتاری یک زنبور اعم از کوشا بودن، تنبل بودن، آرام بودن، مهاجم بودن، گرما دوست و سرما دوست بودن قابل بررسی

می‌باشد. تفاوت‌های بین اعضاء کلنی نسبتاً ناچیز است. بنابراین با استفاده از این روش نمی‌توان رفتارهای متفاوتی که کلنی از خود به نمایش می‌گذارد را توجیه نمود. در زمان افزایش احتیاجات، کلنی زنبورهای بیشتری را در جستجوی منابع غنی‌تر به محیط پیرامون می‌فرستد. حضور کارگرهای غیر فعال و بسیج آنها در زمان نیاز، رازی است که کلنی را قادر می‌سازد حداکثر بهره‌برداری از منابع شکوفه‌ایی قلمرو خود ببرد. در این وضعیت، چند صد کارگر فعال و موفق می‌توانند جابجایی حدود یک سوم از جمعیت کل کلنی را هدایت نمایند.



تصویر ۱۰ - ۳: می‌توان فعالیت جمع‌آوری شهد و گرده زنبورها را در طول عمر آنان از طریق نصب میکروچیپ به آنها پس از خروج از مرحله شفیرگی اندازه‌گیری نمود. از این رهگذر، تفاوت بین افراد مختلف و شرایط تأثیرگذار بر فعالیت جمع‌آوری آنها قابل مطالعه می‌شود.

تکامل همزمان گل‌ها و زنبورها در نهایت موجب انتفاع آنها گردیده است. این مهم باعث شده که گل‌ها و زنبورها شرکای تفکیک ناپذیری بوده و هریک باعث تکامل دیگری گردیده و در نهایت جای کمی برای سایر حشرات باقی گذاردند. یکی از محدود شانس‌هایی که سایر رقبا دارند درجه حرارتی است که زنبورها فعالیت جمع‌آوری شهد و گرده خود را آغاز می‌کنند. زنبورهای عسل زمانیکه دمای خارج به°۱۲ درجه سانتیگراد برسد، قادر به پرواز هستند. این حقیقت برای زنبورهای مخملی (Bumble bee) که در درمای °۷ درجه سانتی‌گراد پرواز خود را آغاز می‌کنند، بسیار خوش شانسی بزرگی محسوب می‌گردد. رزین(Resin) سومین ماده مهم تولیدی گیاهان است که توسط زنبورها جمع‌آوری می‌شود و پس از تبدیل شدن به بره‌موم در گوشه و کنار آشیانه استفاده می‌گردد. تنها بخش کوچکی از رزین از گل‌ها جمع‌آوری شده ولی قسمت اعظم آن از شکوفه‌ها، میوه‌ها و یا برگ‌ها جمع‌آوری می‌شود(تصویر ۱۱ . ۳). به نظر

می‌رسد گیاهان هیچ سازگاری برای فراهم ساختن اینگونه نیازهای زنبورها ندارند ولی احتمالات موجود را نیز نمی‌توان رد کرد.



تصویر ۱۱ - ۳: تعداد کمی از زنبورهای متخصص جمع‌آوری رزین گیاهان و انتقال آنها به عنوان بره‌موم می‌باشند. بره‌موم توسط جفت پای سوم زنبورها به کندو انتقال داده می‌شود.

قدرت جستجوی یک زنبور، همانند کل کلنی به متغیرهای متفاوتی بستگی دارد. یک راه ساده توضیح فعالیت و کارآیی سالیانه کلنی می‌باشند که به شدت به بزرگی جمعیت آن بستگی دارد.

مقدار تقریبی شهد برداشت شده توسط یک کلنی معمولی با روش زیر تخمین زده می‌شود:

- یک زنبور کارگر می‌تواند بین ۲۰ تا ۴۰ میلی گرم شهد را در عسلدان خود حمل کند.
- یک زنبور کارگر بین سه تا ده پرواز کامل در طول روز انجام می‌دهد.
- یک زنبور کارگر در یک دوره ۱۰ تا ۲۰ روزه به جمع‌آوری مشغول است.
- یک کلنی بین ۱۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ کارگر در سال پرورش می‌دهد.
- با توجه به نکات فوق حداقل و حداکثر شهد جمع‌آوری شده را می‌توان محاسبه کرد.
- حداقل مقدار ۲۰ میلی گرم × ۳ پرواز در روز برای مدت ۱۰ روز× ۱۰۰۰۰۰ زنبور= ۶۰ کیلوگرم شهد تولیدی.
- حدأکثر مقدار ۴۰ میلی گرم × ۱۰ پرواز در روز برای مدت ۲۰ روز× ۲۰۰۰۰۰ زنبور= ۱۶۰۰ کیلوگرم شهد جمع‌آوری شده.

تبدیل هر واحد شهد به عسل میزان آن را به نصف کاهش می‌دهد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که یک کلنی سالانه بین ۳۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم عسل تولید نماید.

حداقل مقدار محاسبه شده به طور حتم خیلی کم بوده و حداکثر مقدار نیز خیلی زیاد می‌باشد اما این مقدارها دامنه واقعی تولید عسل و جمع‌آوری شهد را نشان می‌دهند. در فصل ۸ به طور مفصل جزئیات نیازهای ضروری کلنی زنبورعسل و میزان مواد جمع‌آوری شده از محیط را بررسی می‌نماییم.

یک کلنی با اندازه متوسط سالانه ۳۰ کیلوگرم گرده را جمع‌آوری می‌کند که حجم قابل توجهی می‌باشد. میزان رزینی هم که توسط یک کلنی زنبور به کندو آورده می‌شود چند صد گرم می‌باشد.

۴ اطلاعات زنبوران عسل از گیاهان

دنیای بینایی و بویایی زنبورها - قدرت جهت‌یابی آنها در فضا و مهمترین بخش ارتباط بر پایه ارتباط متقابل با گیاهان گلداراستوار است.

گرده و شهد مواد خام مورد نیاز زنبورها می‌باشند که به صورت طبیعی جایگزین می‌شوند. آنها مواد ضروری یک کلنی هستند که عملکرد کندوها وابستگی کامل به ویژگیهای کمّی و کیفی آنها دارد.

گل‌ها در همه مواقع و به صورت نامحدود در دسترس نیستند. این‌ها منابع جبران‌ناپذیری هستند که کلنی‌های زنبور بخاطر آنان با یکدیگر و یا سایر حشرات رقابت می‌کنند. برای این منظور زنبورها دارای قابلیت‌های متحیر کننده‌ایی هستند که آنها را قادر می‌سازد که قبل از سایر رقبا خود را به گل‌ها رسانده و از آنها برداشت کنند.

علم و آگاهی یک قدرت است و این بخوبی در مورد زنبورهای عسل مصداق دارد. اما زنبورها چه چیزی از گل‌ها باید بدانند و این اطلاعات را از کجا می‌آورند؟

سه روش اصولی برای جمع‌آوری این اطلاعات وجود دارد:

- اطلاعاتی که به صورت وراثتی و از طریق ژنوم منتقل می‌شود(غریزه).
- اطلاعاتی که از طریق تجربیات مختلف بدست می‌آید (یادگیری یا آموزش).
- اطلاعاتی که از تجربیات سایر اعضای گونه بدست می‌آید (ارتباطات).

اعضاء حسی مهمترین حلقه تماس را با محیط فراهم می‌کنند و برای یادگیری و ارتباط ضروری هستند. اندام‌های حسی تنها یک مسیر منفعل به سوی دنیای خارج نبوده بلکه در عوض همراه با مراکز حسی دستگاه عصبی مرکزی، اطلاعاتی را پایه‌ریزی می‌کنند که از نظر زیست‌شناسی بسیار مهم بوده و ممکن است به صورت یک حقیقت مادی وجود نداشته باشند.

رنگ مثالی از این مسئله است که قابل تجربه می‌باشد ولی حقیقت عینی ندارد. رنگ‌ها در جهان هوشمندانه موجودات زنده وجود ندارند. امواج الکترومغناطیس که نور بعنوان جزیی از آنها است که در واقع بخشی از یک طیف متوالی می باشند. تنها بخشی از این طیف متوالی که سلول‌های حسی حیوانات را تحریک کرده به عنوان نور توسط آنها قابل مشاهده است. در جهان هوشمندانه موجودات رنگ‌ها شامل طیف نور مرئی هستند که توسط سلول‌های گیرنده

حسی دریافت شده و این سلول‌ها به بخش‌های مختلف طیف نوری حساسند. طیف رنگ‌های مختلف بسته به ویژگی‌های اندام‌های حسی موجودات و اینکه چقدر این رنگ‌ها برای بقاء و تولیدمثل آنها مهم هستند در فرآیند تکامل پایدار مانده‌اند.

دنیای حسی زنبورهای عسل بطور بسیار عالی با سیگنال‌های منتقل شده از گل‌ها سازگار شده است. گل‌ها با رنگ‌های متنوع، خود را از جنگل سبز اطراف بگونه‌ایی متمایز می‌کنند که زنبورها قادر به دیدن آنها هستند. از طرفی دیگر گیاهان بوهای مختلفی نیز تولید می‌کنند در حالیکه زنبورها هم قدرت بویایی بسیار پیشرفته‌ای دارند.

زنبورهای عسل دارای قدرت ذاتی درک رنگ‌ها می‌باشند. اگر طیفی از رنگ‌ها را در اختیار یک زنبور بی‌تجربه قرار دهیم آن زنبور به سمت آبی و زرد پرواز می‌کند. رنگ زرد و آبی در گل‌ها خیلی شایع است . بیشتر گل‌ها شاخص‌های بسیار قوی از طول موج‌های آبی و زرد دارند.

نکته مهم برای زنبورهای عسل سنجش معانی مختلف رنگ‌های مرتبط با کارهایی که یاد می‌گیرند است. فراگیری مهارت‌ها از طریق تجربه، چنان نقش بزرگی در زندگی زنبورها بازی می‌کند که آنها با این قابلیت خود توانسته‌اند به جایگاه ویژه‌ایی در بین حشرات دست یابند. ارتباط که بیشترین نقش را در جابجایی اطلاعات بین افراد یک گونه بازی می‌کند، نیز بطور غیرمعمول در زنبورهای عسل بسیار تکامل یافته است.

درک ذاتی از رنگ‌ها، قدرت یادگیری از طریق تجربه و قابلیت انتقال اطلاعات به دیگران سه ضلع پایه‌ایی مثلث دانش زنبور می‌باشد. آنچه که ما درباره اطلاعات زنبورها از گل‌ها می‌دانیم بسیار جالب توجه است..

برای اینکه بتوانیم رفتار پیچیده زنبورها در پیداکردن و برداشت از گل‌ها را بخوبی درک کنیم، نیاز است که رفتار سرکشی به گل‌ها را به مراحل کاربردی مختلفی تقسیم نمائیم.

کارهایی که زنبورهای کارگر به منظور استخراج کارآمد منابع گلدار انجام می‌دهند، در ذیل آمده است :

- تشخیص گل‌ها.
- تمایز قائل شدن بین گونه‌های مختلف گل‌ها.
- تشخیص کیفیت و حالت گل.
- شناخت چگونگی استفاده مؤثر از پاها و قسمت دهانی در برخورد با گل.
- تشخیص بهترین زمانی از روز که گل‌های مختلف حداکثر تولید شهد را دارند.
- تقسیم اطلاعات بدست آمده با سایر اعضای کندو بعنوان فرد آورنده پیام در یک سیستم ارتباطی.
- دریافت اینگونه اطلاعات در مورد محل گل‌ها از سایر اعضای کندو.

این حقیقت که دنیا تنها از گل‌ها درست نشده است چه مشکلی برای زنبورهای عسل به همراه دارد؟

این نکته هنوز به درستی مشخص نیست که زنبورهای عسل چگونه گل‌ها را از غیر گل‌ها تشخیص می‌دهند. با مشاهده زنبور در محیط، درمی‌یابیم که آنها بدون هیچ مشکلی به سراغ گل‌ها می‌روند. پس مشکل کجاست؟ ما هم قادر به تمایز گل‌ها هستیم. اما آیا زنبورها نیز همانگونه که ما گل‌ها را می‌شناسیم، این کار را می-کنند؟

از این دیدگاه می بایست کمی فلسفی بیندیشیم. ما می‌توانیم طبیعت جهان را تنها از طریق مشاهده کردن، تجربه کنیم. در طول فرآیند تکامل هر گونه از موجودات، آن اطلاعات عمومی درک شده‌اند که برای بقاء و تولید مثل آن گونه ضروری بوده است. آگاهی‌های ما از طریق اندام‌های حسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات حسی در مغز بدست می‌آید. تجربه ذهنی از یک فرد به فرد دیگر قابل انتقال نیست. ما به یک رنگ بنفش می‌گوئیم بخاطر اینکه اینگونه فکر می‌کنیم اما قابلیت این را نداریم که از چشم یک فرد دیگری ببینیم و بگوئیم که درک وی با آن چیزی که ما بعنوان بنفش دیدیم یکسان است. چگونه یک فرد می‌تواند خود را درون سر یک زنبور قرار دهد و بفهمد که درک آن از جهان پیرامون چگونه است؟

با بررسی دنیای حسی زنبورها و کارآیی مغزشان می‌توان اطلاعاتی را در این زمینه بدست آورد. ترکیبی از مطالعات: آناتومیکی، فیزیولوژیکی و رفتارشناسی زنبورها نشان می‌دهد که خصوصیات گل‌ها و ویژگی ادراکی زنبورها به خوبی با هم جفت شده‌اند.

دو ان مهم حسی زنبوها با گل‌ها کاملاً سازگار است. حس بینایی و حس بویایی. تمام تصور ما از گل‌ها از طریق رنگ و بوی آنها است اما زنبورها گل‌ها را از طریق کاملاً متفاوتی تجربه می‌کنند. انسان‌ها که حساسیت آنها تحت تأثیر گل‌هاست تنها به جنبه‌ای که زنبورها در طی تکامل بر روی ظاهر گیاهان تأثیر داشته‌اند توجه می‌کنند.

سیستم بینائی زنبورها در خیلی از موارد با ما متفاوت است. هر چشم مرکب آنها از حدود ۶۰۰۰ واحد بینایی یا اوماتیدی تشکیل شده است(تصویر ۱ . ۴). تصویر اطراف بصورت نقاط جدا از هم و نسبتاً بزرگ در کنار هم قرار می‌گیرد. چشمان ما قادر است تنها یک تصویر کامل را از طریق عدسی بر روی شبکیه ایجاد کند. قدرت ضعیف بینایی زنبورها بدان معنی است که آنها فقط وقتی که چند سانتی‌متر با اشیاء و گل‌ها فاصله دارند، می‌توانند جزئیات آنها را بخوبی ببینند(تصویر ۲-۴).

زنبورها قبل از اینکه بتوانند تشخیص دهند که کدام لکه در منظره پیش رو حقیقتاً یک گل است، نیازمند بازرسی جزئیات آن از نزدیک می‌باشند. تضاد رنگ‌ها، گلها را از گیاهان سبز

زمینه جدا می سازد، دقیقاً همانگونه که پرندگان و پستانداران میوه‌های رنگی رسیده را به سرعت پیدا می‌کنند، این امر گام مهمی در جهت پراکندگی دانه گیاهان محسوب می‌شود. با این حال قبل از تولید دانه، گرده افشانها می‌بایست به گل‌ها سرکشی کنند. بدین منظور گیاهان استراتژیهای یکسانی را برای میوه هایشان در پیش می‌گیرند و آن نشان دادن خود از طریق رنگ‌هاست. به راستی دنیای رنگی زنبورها چگونه است؟

برای درک این منظور مقایسه با قدرت دید رنگی انسان‌ها بسیار کمک کننده است. در طیف رنگ‌های یک رنگین کمان ما طول موج بلند قرمز و کوتاه را به عنوان بنفش درک کرده و سایر رنگ‌ها بین این‌ها قرار می‌گیرند (تصویر ۳-۴) .

نور قرمز در انتهای طیف بینایی انسان جذابیت کمتری برای زنبورها داشته و سلول‌های گیرنده بینایی آنها را خیلی ضعیف تحریک می‌کند. اشیایی که طول موجهایی را منعکس می‌کنند که گیرنده‌های بینایی زنبورها را تحریک نمی‌کنند، ظاهری سیاه به خود می‌گیرند. بدین ترتیب منظره‌ای که پر از شکوفه‌های قرمز باشد، برای زنبورها به شکل محلی پر از نقطه‌هایی سیاه نمایان می‌شود(تصویر ۴-۴). کمبود حساسیت زنبورها به رنگ قرمز توسط حساسیت بالای آنها به طیف‌های با طول موج کم جبران شده است. زنبورها می‌توانند امواج فرابنفش را ببینند، درحالیکه ما قادر نیستیم بدون ابزارهای فنی آن را درک کنیم.

گلبرگ خیلی از گل‌ها دارای سطوحی هستند که نور ماوراء بنفش را قویاً منعکس می‌کنند و اشکال مختلفی را برای چشمان زنبورها ترسیم می‌نمایند که ما قادر به دیدن آنها نیستیم (تصویر ۵-۴). اینگونه الگوها به عنوان علامت‌هایی برای کارگرها بوده تا دسترسی آنها، به محیط های دارای گل راحت‌تر شود. همچنین ممکن است نشانه‌هایی باشند که زنبورها را قادر به تفکیک گونه‌های مختلف گیاهان کنند.

اهمیت جنبه‌های مختلف سیستم ادراکی حیوانات با جز ئیات در متون زیست شناسی آن‌ها توضیح داده شده است.

زنبورها از امواج با طول موج کم خورشید برای جهت‌یابی در پرواز استفاده می‌کنند. گل‌ها با ایجاد بخش‌هایی در گلبرگ‌های خود که منعکس کننده امواج با طول موج کوتاه به عنوان سیگنال‌های جلب کننده است، حس بینایی زنبورها را استثمار می‌کنند.

رنگ‌هایی که زنبورها می‌بینند اساساً به طول موج نور بستگی دارد و زمانی درک آن پیچیده‌تر می‌شود که ما سرعت پرواز زنبورها را تصور کنیم. حتی رفتار زنبورها نیز می‌تواند قدرت دید رنگی‌شان را تحت تأ ثیر قرار دهد.

سرعت پرواز زنبورها در محیط به حدود ۳۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد. در این سرعت قدرت دید رنگی آنان از کار افتاده و کور رنگ می‌شوند (تصویر ۶-۴). تا زمانیکه زنبورها به

شکوفه‌ها نرسیده و به آهستگی دور آنها پرواز نکنند، رنگشان را در نمی‌یابند. این پدیده از لحاظ زیست شناسی معنی‌دار می‌باشد. برای زنبوری که با سرعت پرواز می‌کند، ظاهراً رنگ اشیاء اطلاعات غیر ضروری است. مغز کوچک زنبورها می‌بایست بر روی اطلاعات سایر مواردی که در طول پرواز سریع اهمیت دارد، تمرکز کند. این موارد شامل تشخیص جزئیات ساختاری محیط پیرامون مثل محل موانع و علائم زمینی که راه را نشان می‌دهند باشد. جزئیات بصری اشیا بی رنگ در طول پرواز سریع، برای زنبورها بسیار مهمتر از تصاویری رنگی ولی محو شده می‌باشد.



تصویر ۱-۴ : زنبورهای عسل دارای دو چشم مرکب بزرگ و سه چشم ساده کوچک هستند. هر چشم مرکب مجموعه‌ای از نقاط منظم از رنگ‌های گوناگون را نشان می‌دهد که در نهایت به ایجاد تصویر می‌انجامد. چشم زنبورهای نر (تصویر یک زنبورنر نشان داده شده که تازه از شفیرگی خارج شده) بزرگتر از چشم کارگرها و ملکه‌ها است.

زنبورها، مثل سایر حشرات اشیاء را به صورت "حرکت آهسته " می‌بینند. حرکات سریعی که برای ما قابل درک نیست بطور واضح در هر مرحله توسط زنبورها مشاهده می‌شود(تصویر ۴-۶ قسمت پائینی). حرکات سریع و ناگهانی درست مانند کاری که فرد وحشت زده از زنبورها انجام می‌دهد، اهداف بسیار مناسبی را پدید می‌آورد که براحتی توسط زنبورها شناسایی شده و مورد تهاجم قرار می‌گیرد. حرکات لب در هنگام صحبت کردن علت جلب زنبوران به آن محل و نیش زدن به نواحی اطراف لب می‌باشد.

حتی هدف از پرواز هم بر روی قابلیت زنبورها در تمیز دادن رنگ‌ها مؤثر است. پرواز از آشیانه به طرف مرکز منبع غذایی و از سوی منبع غذایی به آشیانه دو موقعیت کاملاً متفاوت برای زنبورها محسوب می‌شود. زنبورها قابلیت خارق‌العاده‌ای در تمیز دادن رنگ‌ها در هنگامی که به یک گل دست می‌یابند از خود نشان می‌دهند. پس از خاتمه سرکشی به گل‌ها و در زمان آغاز برگشت به کلنی با کیسه عسل پر، قدرت بینایی رنگ‌ها نقش کم اهمیتی برای آنها ایفا می‌کند. آموزش زنبورهایی که رنگ‌های محیط جمع‌آوری غذا را تجربه کردند بسیار مشکل بوده و در راه بازگشت به کلنی حتی اگر پرواز آهسته نیز انجام دهند قادر به تفکیک درست رنگها نمی‌باشند. به هر حال ظرفیت بسیار پیشرفته زنبورها در تشخیص و تفکیک تصاویر دیده شده تحت تأثیر هدف نهایی پروازشان قرار نمی‌گیرد. کندوهای رنگ شده از دید انسان جذاب

هستند(تصویر ۷-۴). در مقابل در بررسی قابلیت تفکیک رنگ کندوها، زنبورها کارآیی ضعیفی داشتند. زنبورها رنگ آبی را نسبت به سایر رنگ‌ها بیشتر ترجیح داده و تشخیص می‌دهند و برخلاف رفتارشان در محل‌های جمع آوری غذا که کوچکترین تفاوت بین رنگ‌ها را تشخیص می‌دهند به راحتی قادر به تفکیک رنگ‌ها نبودند. علامت گذاری کندوها با الگوهای متفاوت مثل خطوط عمودی و افقی بهترین کمک برای زنبورها جهت یافتن کلنی‌شان است. تصاویری رنگی و جذاب موجود در ورودی کندوها شرایط بهینه‌ایی برای زنبورها و انسان‌ها فراهم می-کند زیرا آنها به راحتی توسط زنبورها تشخیص داده شده و یاد گرفته می‌شوند و در عین حال از دید انسانی نیز خوشایند هستند(تصویر ۷-۴). در مفاهیم رفتاری که در اینجا بیان شده به عنوان موقعیت‌های حرکتی مخالف برای زنبوران پرواز کننده به محل منابع غذایی و یا در بازگشت به کندو تجربه زنبوران از محیط را تعیین می‌نماید.

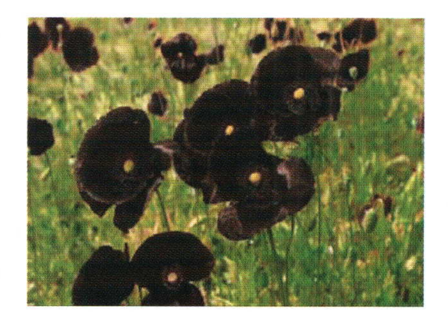


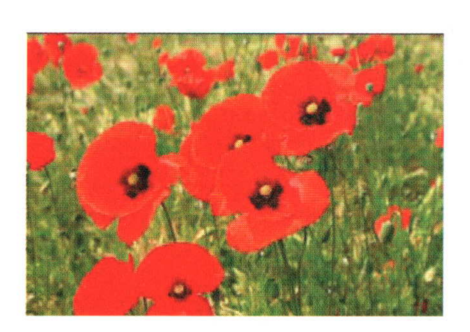
تصویر ۲-۴ : نتیجه نقاط منظم در دنیای بینایی زنبورها، دیدن جزئیات نوری اشیایی مثل گل‌هایی که به آنها نزدیک می‌شوند، است. تصاویر بالا نشانگر نحوه بینایی زنبور از فاصله‌های چند متری می‌باشد. تصویر مرکزی نشانگر یک گل از فاصله ۳۰ سانتی متری است. در تصویر پائینی جزئیات گل تنها زمانی برای زنبور قابل تشخیص است که حدود ۵ سانتی متر با آن فاصله داشته باشد.



تصویر ۳-۴ : یک رنگین کمان شکل گرفته: انسان‌ها قادر به دیدن تنها بخشی از امواج الکترومغناطیسی خورشید هستند. برخلاف ما، طیف رنگی که توسط زنبورها دیده می‌شود به سمت طول موج‌های کوتاه است. قرمز ناپدید شده و در جهت دیگر رنگین کمان طیف‌های رنگی ماوراءبنفش در حوزه دید آن‌ها ظاهر می‌شود.

تصاویری که زنبورها در طول پروازهای سریع از محیط اطراف درک می‌نمایند نه تنها زمانیکه آنها در محیط سریعاً پرواز می‌کنند بلکه در تشخیص سایر زنبورهای در حال پرواز که می‌توانند آنها را دنبال کنند بسیار حائز اهمیت است. برای مثال، این مسئله در طی رفتارهای جفت گیری زمانیکه زنبورهای کارگر، ملکه را در پروازها همراهی می‌کنند و یا نرها را در پرواز دنبال می‌کنند، مصداق پیدا می‌نماید(به تفصیل در فصل ۵ بحث شده است). این حقیقت در جنبه‌های دیگر زندگی زنبورها نیز دیده می‌شود مانند رفتار بچه‌دهی که در آن زنبورها به صورت گروهی به طرف آشیانه جدید پرواز می‌کنند و یا در پرواز گروه‌های کوچک زنبوران با تجربه و جمع‌آوری کننده غذا به سوی مکان‌های منابع غذایی.

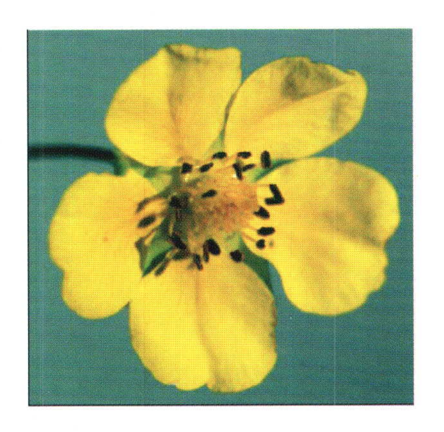




تصویر ۴-۴ : زنبورها طول موج‌های زیاد را به شکل سیاه درک می‌کنند. گل‌هایی که طول موج‌های زیاد منعکس می‌کنند توسط زنبورها سیاه دیده می‌شوند، این درحالیست که ما آنها را قرمز می‌بینیم.

گل‌ها عموماً غیر متحرک‌اند و این نکته بسیار باعث شگفتی است که قدرت بینایی زنبورها به جنبش اشیاء بسیار حساس است. این ویژگی به عنوان یک مزیت توسط برخی از گل‌ها بهره‌برداری می‌شود. گونه‌های مختلف گیاهان برای دیده شدن توسط زنبورها رقابت می‌کنند همانند آنچه که کلنی‌های زنبورعسل برای دست‌یابی به گل‌ها انجام می‌دهند. گل‌های بزرگ‌تر و رنگی‌تر برای زنبورها جذاب‌تر بوده و آنانیکه رایحه بیشتری تولید می‌کنند بازدیدکنندگان بیشتری را نسبت به سایر رقبا به خود جذب می‌کنند. حال با این شرایط آیا گل‌های کوچک هم می‌توانند زنبورها را جذب کنند؟ گل‌های کوچک اغلب دارای ساقه‌های باریک قابل انعطافی هستند که با کوچکترین نسیمی به حرکت در می‌آیند و توجه زنبورها را به خود جلب می‌کنند (تصویر ۸-۴).





تصویر ۵-۴ : خیلی از گل‌ها روی گلبرگ‌های خود بخش‌هایی را دارند که نور ماوراءبنفش را منعکس می‌کند. از این طریق تصویر سمت راست را برای زنبورهای عسل شکل می‌دهند که برای انسان‌ها قابل درک نمی باشد (تصویر چپ).

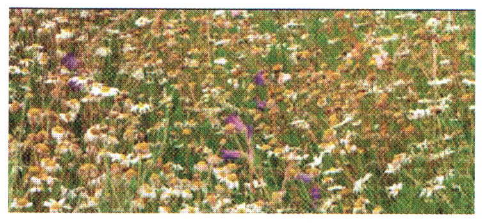
گل‌ها نه تنها از طریق رنگ بلکه از طریق بوهای متفاوتی که تولید می‌کنند و برای ما نیز قابل تشخیص هستند خود را عرضه می‌کنند . در این فرآیند مهمترین گروه هدف زنبورهای عسل می‌باشند. زنبورهای عسل دارای هزاران سلول حسی بر روی شاخک‌های خود بوده که همانند اندام بینی برای آنان عمل نموده و این سلول‌های حسی بوسیله میکروسکوپ الکترونی قابل بررسی است (تصویر ۹-۴).

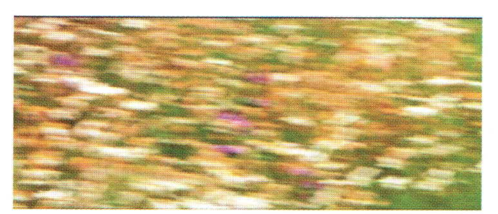
رایحه گل‌ها باعث جذب زنبورها از فاصله قابل توجهی می‌شود. این درست برخلاف حس بینایی است که زنبورها تنها از فاصله خیلی نزدیک و در پرواز آهسته قادر به شناسایی اجسام هستند. در هنگام وزش شدید باد بوها پراکنده شده و به حس جهت‌یابی زنبورها کمک خاصی نمی‌کنند اما می‌بایست مولکول‌های بو در هوا پراکنده شوند تا بتوانند زنبورها را به مقصد هدایت کنند. در کل، زنبورها برخلاف جهت باد روی گل‌ها می‌نشینند . جهت کاهش سرعت

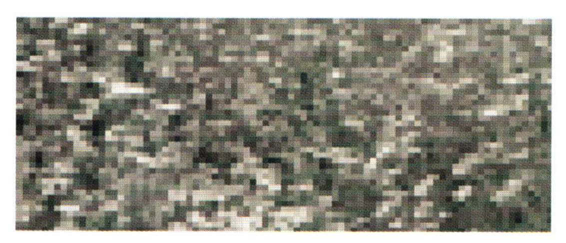
به زمین نشستن، خلبان‌ها از خلاف جهت حرکت باد استفاده می‌کنند اما زنبورهای شهد جمع کن رد بوی گل‌ها را دنبال نموده تا به گل‌ها برسند. زنبورهای کارگری که بدون ملاقات منبع غذایی تنها یکبار بوی آنرا تجربه کرده باشند به سرعت مکان گل‌ها را از طریق رایحه‌ای که به سمت کلنی آنان می‌آید، پیدا می‌کنند. در این شرایط، آن‌ها آنقدر در فضا چرخ می‌زنند تا نسیمی رایحه گلی را بیاورد و آنها را به آن سمت راهنمایی کند.

چه زمانی گل‌ها واقعاً گل نیستند؟

ترکیبی از ظاهر بصری و رایحه از طرق مختلفی در گل‌ها بهم آمیخته شده است. رنگ، بو و شکل اجزائی هستند که مکمل یکدیگر بوده و در کنار هم ، ویژگی گل‌های مختلف را تشکیل می‌دهند و بسیار در تشخیص گل‌ها به زنبورها کمک کننده هستند. این قدرت بیش از نیاز یک پدیده مهم بنام «وفاداری گل» می باشد که برای زنبورها و گل‌ها بسیار حائز اهمیت است. زنبورهای کارگر برخلاف مگس‌ها و پروانه‌ها بی‌هدف به گل‌های مختلف سرراهشان سرکشی نمی‌کنند و زمانیکه شروع به برداشت از یک نوع گل می‌کنند بطور مستمر به آنها سر می‌زنند (تصویر ۱۰-۴).







تصویر ۶-۴ : زنبورهایی که به سرعت پرواز می‌کنند کور رنگ هستند. اطلاعات رنگی در این شرایط کم اهمیت بوده و پردازش نمی‌شوند. منظره رنگی گل‌ها (تصویر بالایی) برای انسانی که از آنجا به سرعت عبور می‌نماید به صورت تصویر وسط دیده می‌شود. برخلاف ما اگر زنبوری با همان سرعت از مقابل همان منظره عبور کند:

۱ . تصویری از نقاط تشکیل شده با شدت نور متفاوت، ۲. تصویری درخشان و ۳. تصویری سیاه و سفید (تصویر پایینی) را درک خواهد نمود.





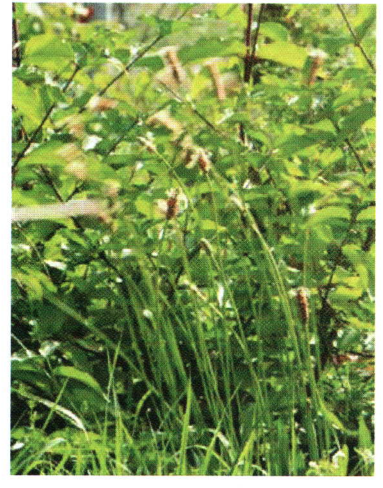
تصویر ۷-۴ : کندوهای جفتگیری با تصاویر تزئینی (تصویر بالا) بیشتر از مکان‌های با رنگ‌آمیزی ساده به جهت‌یابی زنبورها کمک می‌کنند (تصویر پائین).

این ویژگی مزایایی بسیاری برای گل‌ها دارد زیرا گرده‌ای که آنها تولید می‌کنند روی کلاله گل‌های گونه‌های دیگر تلف نمی‌شوند. همچنین برای زنبورها هم مزایایی دارد که همانا سازگار شدن با آن گل و جمع آوری سریع‌تر شهد می‌باشد.

رنگ، بو و شکل در اصل ویژگی‌هایی هستند که می‌توانند ترکیبات بی‌نهایت مختلفی را تشکیل دهند. اگرچه ذخیره ژنتیکی زنبورها اینقدر نیست که بتواند اطلاعات تمام گل‌های موجود در طبیعت را در خود جای دهد. بجای آن زنبورها قدرت ذاتی در یادگیری و استفاده همزمان از قدرت بینایی و بویایی در جهت شناسایی ویژگی‌های مختلف گل‌ها را دارا می‌باشند.

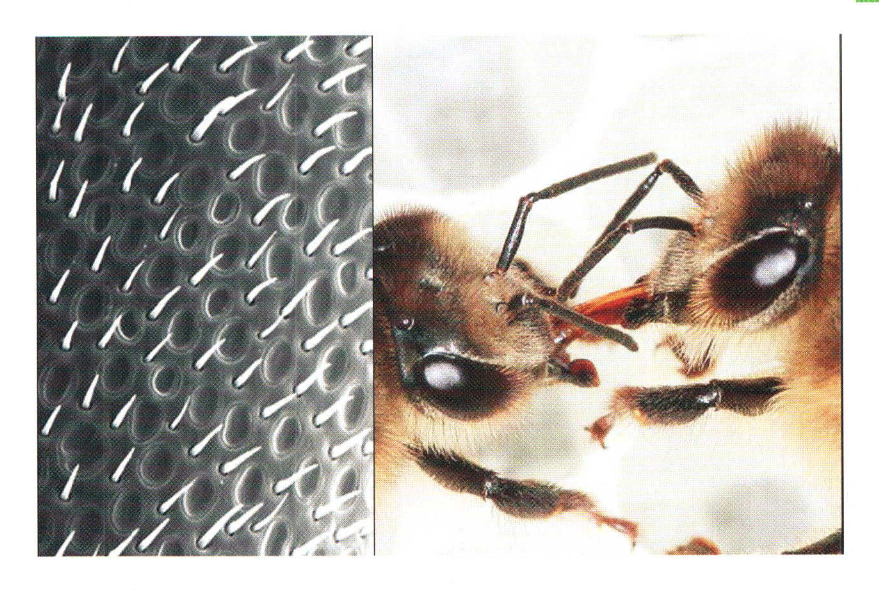
قدرت یادگیری زنبورهای عسل به شدت پیشرفته است. یک تجربه کوچک در برخورد با بویی ویژه کافی است تا زنبور بار دیگر بتواند با قدرت ۹۰٪ آنرا تفکیک کند. این حقیقت همانگونه برای بوها با ترکیبات ساده صدق می‌کند در مورد بوهای با ترکیب شیمیایی پیچیده نیز صادق است. در دو یا سه آزمایش صورت گرفته، زنبورها در انتخاب چنین بوهایی بدون خطا بودند. این قدرت یادگیری بصورت پایه‌ایی نشانگر میزان اهمیت بوها در درک جهان

اطراف برای زنبورها ی عسل می‌باشد. زنبورها بو را به سرعت یاد می‌گیرند ولی برای یادگیری شکل و رنگ نیاز به سه تا چهار مرحله تمرین دارند.



تصویر ۸-۴ : گل‌های کوچک با ساقه‌های باریک خود، با اندک نسیمی به حرکت در می‌آیند و برخلاف اندازه کوچک و رنگ‌های روشن سیستم حرکت یاب بینایی زنبورهای عسل را تحریک می‌کنند.

قدرت یادگیری و تمایز زنبورهای عسل بین محرک‌های بویایی و بینایی در شرایط آزمایشی بسیار آشکار می‌باشد(تصویر ۱۱-۴). برخی از جنبه‌های شناختی زنبورها مانند مهره داران پست است. زنبورها در طول پرواز می‌توانند جدای از جهت بدن خود اشکال اشیاء را در فضا تشخیص دهند. برخی فعالیت‌های رفتاری نشانگر آگاهی نسبی آن‌ها از مفاهیم راست و چپ، تقارن و عدم تقارن و زوج و فرد است. زنبورها قادر به تشخیص و تمایز کم یا زیاد به عنوان یکی از شاخص‌های ساده اندازه‌گیری می‌باشند. زنبورها برخی از قوانین رفتاری از تجربه‌های خود را استنتاج کرده و بعد آنها را در شرایط کاملاً جدید استفاده می‌کنند. برای مثال زمانیکه دالان پر پیچ و خمی دارای علائم خاصی باشد، زنبورها به سرعت یاد می‌گیرند که از آن علائم برای خروج استفاده کنند: به عبارت دیگر زنبورها به سرعت یاد می‌گیرند که در هر مکان و هر زمان رفتار خاصی را نشان دهند و تصمیم ویژه‌ایی اتخاذ نمایند.



تصویر ۹-۴: شاخک زنبورهای عسل پر از گیرنده‌های حسی متفاوت است (تصویر سمت راست). گیرنده‌های حساس به تماس، دما، رطوبت و مهمتر از اینها، بو، در اینجا قرار دارد. تفاوت ظاهری این هزاران سلول‌های حسی بخاطر تنوع فعالیت آنها می‌باشد. اشکال متفاوت بعضی از این گیرنده‌ها با بزرگنمایی ۴۰۰ مرتبه در تصویر سمت چپ نشان داده شده است.

گل‌ها در مکان‌های مختلف و زمان‌های مختلفی از روز، میزان شهد متفاوتی تولید می‌کنند. این حقیقت به زنبورها کمک می‌کند تا پروازی برای استفاده حداکثر از منابع را برنامه‌ریزی کنند. زنبورهای عسل دارای برنامه کاری روزانه بوده و هر کاری را در زمان و مکان صحیح خود انجام می‌دهند. این امر نشانگر هوش سرشار زنبورها می‌باشد.

آیا در این گل شهد است ؟

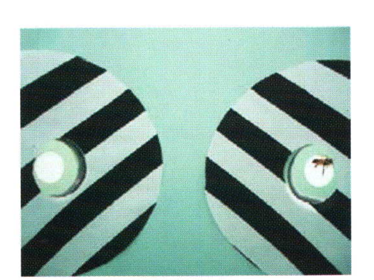
یک زنبور کارگر هنگام پرواز و جستجوی گرده یا شهد به هر گلی سر نمی‌زند. در یک نگاه، استراتژیهای بهینه زنبورها در جستجو برای گرده یا شهد مشخص نمی‌شود. اما بهترین راهی که زنبورها در صرفه جویی وقت و انرژی انجام می‌دهند، سر نزدن به هر گلی می‌باشد. مشکل زنبورها را می‌توان با یک بازی استراتژیک فکری مقایسه کرد که در آن برای ارتقاء کارآیی یک فروشنده می‌بایست با تدبیر خاص به مشتریانش سر بزند. با این حال زنبورها توسط پیامی که قبلاً از دیگر زنبورهای ملاقات کننده گل‌ها دریافت داشته‌اند، آنان را دنبال نموده و به سوی منبع غذایی هدایت می‌شوند. همیشه تعداد زیادی زنبور کارگر در محل گل‌ها هستند. بعضی از گل‌ها نیاز به زمان کافی برای جایگزین کردن شهد و گرده‌های برداشت شده دارند، بدین منظور کارگرهایی که آخرین قطرات شهد را برداشت می‌کنند با علامت‌های شیمیائی یا سیگنالی با مفهوم « خالی بودن» آن را مشخص می‌کنند. این علامت‌های شیمیائی که

زنبورها به جای می‌گذارند با جایگزین شدن ذخایر شهد بلافاصله محو می‌شوند. زنبورهایی که به این گل‌ها می‌رسند، پیام را دریافت کرده و بدون فوت وقت به سراغ گل‌های دیگر می‌روند.





تصویر ۱۰-۴: زنبورها به یک گل وفادار بوده و تنها ملاقات نمودن یک گل را مکرراً ادامه می‌دهند. این در حالیست که به سایر گل‌های اطراف هر چند با ارزش توجهی نمی‌کنند. در مجموع گل‌هایی که در اینجا نشان داده شده شکوفه‌های آبی و زرد در کنار هم هستند. زنبورهایی که برداشت را با گل‌های زرد آغاز کردند، گل‌های آبی را نادیده می‌گیرند(تصویر بالا) در حالیکه آنهایی که با آبی‌ها شروع کردند، زردها را نادیده می‌گیرند(تصویر پائینی).

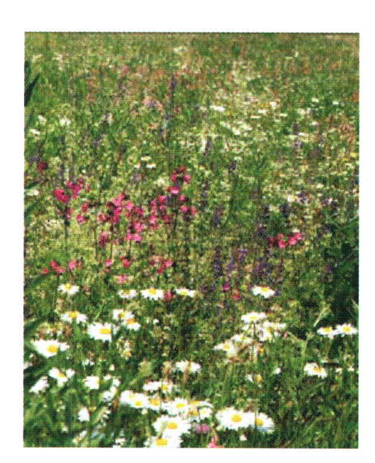




تصویر ۱۱-۴: آزمایشات رفتارشناسی مختلفی برای بررسی قدرت شناختی زنبورها صورت پذیرفته است. در این آزمایش اگر زنبور الگوی صحیحی که یاد گرفته را انتخاب کند، در پشت دیوار علامت‌دار، ظرف غذایی را که به عنوان جایزه قرار داده شده، پیدا خواهد کرد.

راه رسیدن به شهد

تنوع اشکال گل‌ها، زنبورها را با مشکل عملی روبرو می‌کند. بدین‌ترتیب که زنبورها از طرق مختلف شهد گل‌ها را برداشت می‌کنند. این بواسطه اطمینان گل از انتقال گرده است(تصویر ۱۲-۴). غدد تولیدکننده شهد در هر گلی جای خاصی قرار داشته و می‌بایست پوشش آن کنار زده شود. سریع‌ترین و کم انرژی‌ترین راه برای جمع آوری شهد و گرده، راه آزمون سعی و خطاست که توسط زنبورها اتخاذ می‌شود.



تصویر ۱۲-۴: تنوع بی شمار گل‌ها مشکلاتی از نظر صرف وقت و انرژی زیاد برای زنبورها به همراه دارد.

با در نظر گرفتن وفاداری زنبورها به یک گل، سرکشی مستمر به یک گونه گل، کمک شایانی به افزایش کارآیی زنبورها داشته و باعث صرفه جویی زیادی در وقت و انرژی آنها می‌شود.

گل‌ها کجا هستند؟

کلنی زنبورعسل دارای یک آدرس ثابت است و تا زمانیکه افراد، کلنی خود را ترک ننمایند محل سکونتشان را تغییر نداده‌اند، لذا مشکلی برایشان پیش نمی‌آید. با این وجود جریان انرژی و مواد می‌بایست همیشه برقرار بوده و لذا زنبوران جمع‌آوری کننده شهد و گرده چاره‌ای جز پرواز به محیط خطرناک خارج و جستجوی گل‌ها ندارند. آنها اولاً می‌بایست مسیر بازگشت خود به خانه را پیدا کرده و ثانیاً در صورت پیدا کردن مجموعه‌ای فراوان از گل‌ها ، مسیر بازگشت دوباره به آنجا را نیز به خاطر بیاورند.

زنبورها برای جهت‌یابی در خارج از کلنی از علائم زمینی و آسمانی کمک می‌گیرند و در راه رسیدن به هدف مسیر خود را از یک علامت راهنما به علامت دیگر انتخاب می کنند. آنها از درختان، بوته‌ها و سایر خصوصیات برجسته محیط استفاده کرده و در این راه از حداکثر حواس بینایی و بویایی خود بهره می‌برند. روش جهت‌یابی بستگی به میزان شناخت و تجربه

زنبور از قلمروی محل سکونت داشته که معمولاً از طریق پروازهای کوتاه افرادی که تازه جمع‌آوری شهد و گرده را آغاز نموده‌اند، این شناخت بدست می آید. در خلال پروازهای جهت‌یابی که بیش از چند دقیقه طول نمی‌کشد، زنبورها هر بار کندو را به یک جهت ترک کرده و بدین ترتیب می‌توانند نقشه‌ایی از محیط اطراف کلنی خود بدست آورند. به منظور کمک به کارگرهای جوان، زنبورهای پیرتر معمولاً از غدد نازانوف که در انتهای شکم آنان قرار دارد، فرمون خاصی در کندو ترشح می‌کنند که ژرانیول نام دارد. این ژرانیول‌ها ترکیباتی شبیه بوی شمعدانی دارند و با بال زدن زنبورها در محیط پخش می‌شود (تصویر ۱۳-۴)

زنبورهایی که فواصل طولانی را از محل کندو تا محل منابع غذایی طی می‌کنند می‌بایست نشانه‌های ویژه‌ای از محیط در طول مسیر را به خاطر بسپارند.

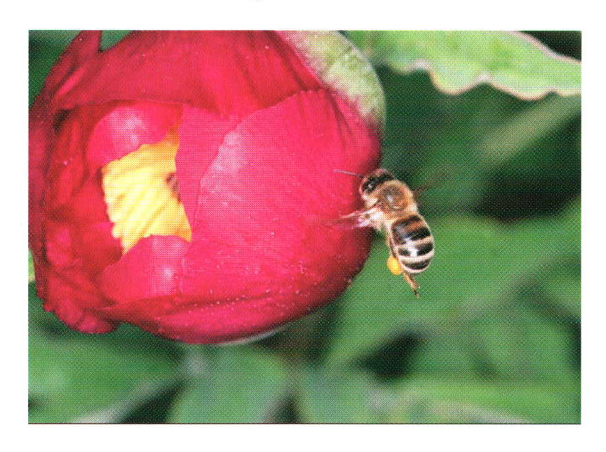
در زمان پیدا کردن مسیر خاص در یک محیط ناآشنا، قطب‌نما وسیله کار آمدی است. خورشید شاخص راهنمای آسمانی زنبورها محسوب شده و آنها می‌توانند جهت حرکت خود را براساس موقعیت آن مشخص کنند. اگر خورشید پشت ابرها پنهان باشد آنگاه تشعشعات نوری که از جو زمین عبور می‌کند الگوهای پلاریزه در آسمان ایجاد می‌کند که قابل استفاده است. در صورت عبور نور غیر پلاریزه خورشید از جو زمین این انوار پلاریزه شده و در آسمان الگوهای بصری ایجاد می‌کند که چشم انسان بدون کمک ابزارآلات خاص قادر به درک آن نمی‌باشد. چنین ابزارآلات یا تحلیل‌گرهای نوری در چشم زنبور تعبیه شده و آنان قادر به تفکیک نور پلاریزه از غیرپلاریزه هستند. الگوهای پلاریزه تشکیل شده در آسمان ناشی از تراکم مختلف هوا بوده که خود آن تحت تأثیر تغییرات در دما و رطوبت است. برای اینکه این الگوها در جهت‌یابی کارآمد باشد می‌بایست تحت تأثیر این تغییرات قرار نگیرند. طول موج پایین ثبات بیشتری داشته و کمتر تحت تأثیر تغییرات محیط قرار می‌گیرند، بنابراین برای جهت‌یابی مناسب می‌باشند. کارگرها نیازمند پیدا کردن راه برگشت به کلنی هستند. در این راستا حساسیت آنها به نور ماوراءبنفش در یک فرآیند تکاملی پیشرفت قابل توجهی کرده و در نتیجه می‌توانند از الگوهای ثابت پلاریزاسیون استفاده کنند . این توانایی زنبورها در درجه اول به آنان در استفاده از نور ماوراءبنفش برای جهت‌یابی و دست‌یابی به گل‌ها کمک می‌نماید. زیرا از بسیاری از گلبرگ گل‌ها نور ماوراء بنفش منعکس می‌شود. این ویژگی گل‌ها به دیدن و نشستن زنبورها بر روی آنان مساعدت نموده و این امکان را برای آنان فراهم می‌آورد تا بتوانند انواع مختلف گل‌ها را از یکدیگر متمایز کنند.



تصویر ۱۳-۴: زنبورهای پیر کندو با ترشح بوهای جذاب از غدد نازانوف شکم خود و پخش کردن آن در فضا توسط بال زدن به زنبورهای جوان در بازگشت به خانه کمک می‌کنند.

علائم زمانی

استفاه از راهنماهای آسمانی به شکل موقعیت خورشید و الگوهای پلاریزه در آسمان زمانی کارآیی درستی دارند که زنبورها تغییرات آنان را که ناشی از گردش است را محاسبه کنند. زنبورها قادر به درک زمان هستند. این ویژگی آنها را قادر می‌سازد حتی زمانیکه در کندو در حال استراحت می‌باشند، تغییرات محل راهنماها را درک کرده و خود را با آنها تطابق دهند. علی‌رغم تغییر و وضعیت جدید علائم جهت‌یابی، زنبورها می‌توانند در خروج مجدد از کندو مسیر اصلی را محاسبه کنند. این جنبه از رفتار زنبورهای عسل در سال ۱۹۸۲-۱۸۸۶ توسط کارل ون فریش بررسی شد، او با توجه دقیق به ارتباط زنبوران توسط اجرای حرکات موزون (رقص) متوجه شد که: کارگرهایی که در تمام روز به یک محل غذایی مشترک سر زده‌اند در هنگام صبح و عصر در جهت مختلف حرکات موزون انجام می‌دادند. محل نسبی خورشید نسبت به کندو به زمان بستگی دارد. ون فریش به این نتیجه رسید که زنبورها از خورشید به عنوان ابزار کمکی در جهت‌یابی استفاده می‌نمایند.



تصویر ۱۴-۴: یک زنبورکارگر خیلی زود به گلی که دیروز سرکشی نموده بود رسیده است.

ویژگی درک زمان امکان تطابق زنبورها با زمان محدود شکوفایی گل‌ها را فراهم می‌آورد. به منظور کاهش رقابت در بین گل‌ها، گیاهان مختلف در زمان‌های خاصی از روز شهد تولید می‌کنند و زنبورها نیز قادر به یادگیری این جدول زمان‌بندی هستند. آنها سرکشی‌های خود را تنظیم کرده و در زمان درست از گل‌های مناسب استفاده می‌کنند(تصویر ۱۴-۴). از آنجایی که گیاهان مختلفی در محل سرکشی زنبورها قرار داشته که همزمان دارای گل شکوفا هستند، زنبورها نه تنها می‌دانند در چه زمان به کدام محل سر بزنند بلکه می‌دانند به کدام گل در کجا و کی می‌بایست سرکشی کنند. آنها همچنین به سرعت منابعی که دیگر ارزش خاصی ندارند را شناسایی می‌نمایند(تصویر۱۵-۴).

کارگرهایی که درآب و هوای مطلوب به مناطق غنی پرواز کرده بودند، اگر در سرکشی بعدی چیزی نیابند به سرعت اطلاعات مکانی آنرا از ذهن خود پاک کرده و دیگر به آنجا سرکشی نمی‌کنند. به عبارت دیگر زمانی‌که هوای نامساعد از پرواز آنها جلوگیری می‌کند، آنها قادر به یادآوری آخرین محل‌های سرکشی شده هستند و بلافاصله بعد از مساعد شدن هوا به آنجا باز می‌گردند. یادگیری و فراموشی به شکل اعلایی با هر موقعیت بیولوژیک سازگار شده است.

چگونه زنبورها در مورد گل‌ها با یکدیگر صحبت می‌کنند.

قبل از غارت گل‌ها توسط سایرین، زنبورها می‌بایست آنها را پیدا کنند. درصد کمی از زنبورهای پیر به عنوان پیشاهنگ به دنبال مناطق گل دار جدید می‌گردند . گل‌هایی که توجه این پیشروها را جلب کنند ظرف حدود چند دقیقه تا نیم ساعت پس از کشف شدن، توسط زنبورهای زیادی سر کشی خواهند شد. افزایش تعداد سرکشی‌ها آنقدر زیاد است که به نظر

می‌رسد هر زنبور خودش آنجا را پیدا کرده است. در عوض، زنبورهای تازه وارد که قبلاً در کندو در باب منبع غذایی اطلاع‌رسانی شده و برای کمک در امر جمع‌آوری شهد تحریک می‌شوند.

ارتباطی که بین زنبورهای مطلع و غیر مطلع برقرار است، به شدت پیچیده بوده و تا کنون نیز به درستی درک نشده است. این ارتباط شامل زنجیره‌ایی از الگوهای رفتاری است که در داخل کندو و محیط اطراف انجام می‌شود. تنها یک حلقه از این زنجیر زبان رقص است که ون فریش آن را کشف کرد. این مطالعه در زمان خودش یکی از مطالعات قوی در سیستم ارتباطات حیوانات بود.

برای مثال زنبوری که درخت گیلاس شکوفه‌داری را پیدا کرده با مقداری از شهد آن به آشیانه باز می‌گردد. شهد آورده شده را به زنبور دریافت کننده منتقل نموده و آشیانه را به مقصد همان درخت مجدداً ترک می‌نمایند. این کار چندین بار تکرار شده و هر سفر نیز احتمالاً به دلیل شناخت بیشتر مسیر سریعتر انجام می‌گیرد. زمانیکه سریعترین راه پیدا شد که معمولاً حدود ۱۰ سفر طول می‌کشد، آن زنبور شروع به رقص می‌کند.

برای مکان‌های غذایی با فاصله کمتر از ۵۰ تا ۷۰ متر از کندو ، کاول ون فریش کشف کرد که زنبورها به صورت دایره‌وار می‌رقصند(تصویر ۱۶-۴).

رقص دایره‌وار تنها حاوی اطلاعاتی در مورد کیفیت منابع غذایی است. این نشانه‌ها صرفاً حاکی از آن است که بدنبال چه می‌توان گشت و این منابع را می‌توان در نزدیکی کلنی یافت. زنبوری که از سرکشی به درخت گیلاس بر می‌گردد، بوی شکوفه‌های آن را همراه داشته، در نتیجه بعد از چند پرواز درخت گیلاس به سادگی در اطراف کندو پیدا می‌شود.

اگر محل منابع غذایی در فاصله دورتری از کندو قرار داشته باشد، داشتن نشانه‌هایی از محل آن در عین حال که بسیار کمک کننده خواهد بود، از صرف زمان زیادی برای پرواز هم جلوگیری می‌کند. در چنین شرایطی زنبورهایی که دنبال بردن نیروهای کمکی هستند، اطلاعات خود را با استفاده از رقص ارتعاشات شکمی (Waggle dance) منتقل می‌کنند. ظواهر مسیر طی شده در این رقص، نشان دهنده موقعیت منبع غذایی نسبت به کندو است.

توالی قابل توجه اتفاقات در رقص ارتعاشات شکمی چنان منظم و فشرده است که توجه خیلی از محققین رفتار شناس را به خود جلب کرده است. کمک گرفتن از تجهیزات مدرن مانند تصاویر نزدیک و حرکت آهسته جزئیات خیره کننده‌ایی را نمایان می‌کند:

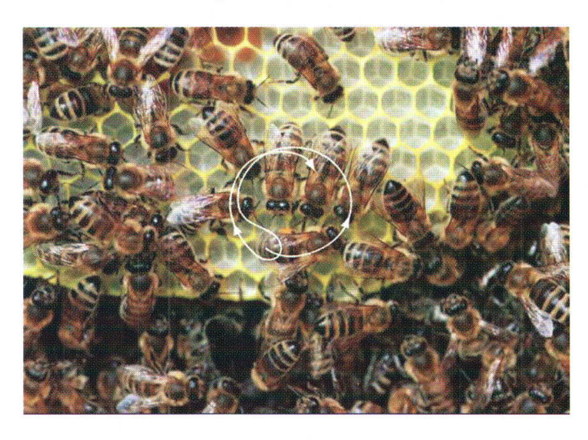


تصویر ۱۵-۴: گل‌های پژمرده به سرعت جذابیت‌شان را برای زنبورها از دست می‌دهند.

نامگذاری رقص ارتعاشات شکمی براساس بخشی از رفتاری است که در طی آن زنبور روی یک شان ایستاده و بدن خود را با سرعت ۱۵ بار در دقیقه به طرفین تکان می‌دهد. سپس او از طریق یک مسیر نیم‌دایره‌ای به نقطه شروع فاز جنبشی باز می‌گردد. بعد از تکرار مجدد فاز جنبشی این بار زنبور در جهت مخالف قبلی مسیر نیم دایره را کامل کرده و به نقطه اول باز می‌گردد. بنابراین این روش حرکت زنبورها بر روی شان‌ها تقریباً شبیه نوشتن هشت انگلیسی می‌باشد(تصویر ۱۷-۴).

یک سیکل کامل رقص فقط چند ثانیه طول کشیده و در فضایی با قطر ۲ تا ۵ سانتی متر به نمایش در می آید. جزئیات این حرکات سریع و کوچک در ابتدا با فیلم‌های حرکت آهسته آشکار گردید. این تصاویر نشان دادند که فاز جنبشی رقص زنبور روی یک شان همراه با خطای بصری است و در طول تکان‌های شدید که به بدن می‌دهد به جلو نیز متمایل می‌شود. در واقع زنبورها بجای "رقصیدن در حال حرکت" ، "رقص در حال سکون" را به اجرا در می آورند و تا آنجا که ممکن است در یک جا مانده و با هر شش پای خود به سطح می‌چسبند، سپس به جلو متمایل می‌شوند. بعضی از زنبورها تا پیدا کردن جای مناسب برای مدتی از سطح شان جدا شده و زمانیکه به جلو متمایل می‌شوند لازم است تا یک یا چند پای خود را حرکت دهند اما خیلی اوقات یک تا دو گام نیز برمی‌دارند (تصویر ۱۸-۴).

محل رقص زنبورها منحصراً در مکان کوچکی نزدیک ورودی کندو قرار دارد. رقصنده‌ها، زنبورهای جستجوگر غذا را که به پیام آنها علاقه‌مند هستند را در "محل اجرای رقص" ملاقات می‌کنند. این محل بصورت شیمیائی برای زنبورها مشخص شده است. اگر این قسمت از شان (محل رقص) را جدا کرده و در محل دیگری از کندو قرار دهید، زنبورها به دنبال آن گشته و محل جدید آن را می‌یابند و سپس رقص خود را به نمایش می‌گذارند.



تصویر ۱۶-۴: یک کارگر منابع غذایی نزدیک کندو را کشف کرده و درحال نمایش رقص دایره‌وار، می‌باشد.

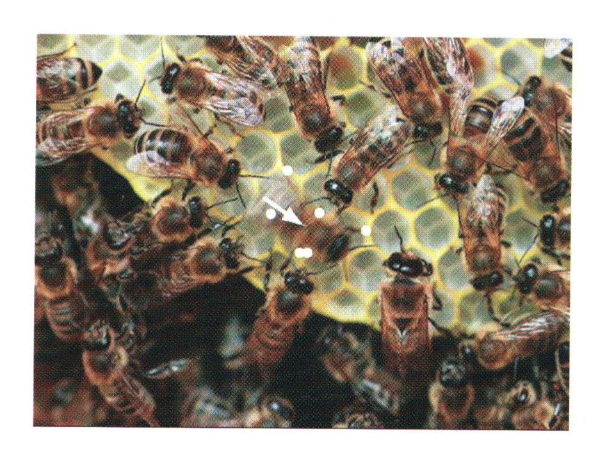
رقصنده‌ها و همراهانشان که معمولاً حدود ۱۰ زنبور در اطراف هر رقصنده می‌باشند، حرکاتی شبیه رقص باله دقیقاً طراحی شده را به نمایش می‌گذارند (تصویر ۱۹-۴).

همانند حرکت رقصنده‌ها، حرکات همراهی کنندگان نیز دقیقاً برنامه‌ریزی شده است و محل قرارگیری متوالی پاها و حرکات، بدنشان کلیشه‌وار است. وضوح حرکات دنبال کنندگان کمتر از رقصنده‌ها واضح بوده و تنها توسط تصویربرداری با حرکت آهسته قابل بررسی است. در این چنین بررسی‌هایی این نکته آشکار می‌شود که تنها آن دنبال‌کنندگانی که تمام حرکات را با جزئیات به درستی به نمایش می‌گذارند، می‌توانند در دورهای متوالی رقص "سر موقع" انجام وظیفه کنند.

در کل چگونه مسیر تا هدف شرح داده می‌شود؟ مجموعه‌ایی از جهات در توضیح جزئیات سفر می‌بایست در نظر گرفته شود بطور مثال ۱۰۰ متر در طول خیابان ایستگاه جلو بروید تا به چراغ راهنمایی برسید، سپس رفته تا به تقاطع دوم رسیده راه را در همان مسیر ادامه داده تا به رستوران زنبورعسل برسید. سپس در اولین خیابان بعد از آن به سمت راست پیچیده و بعد از طی ۲۰۰ متر اداره پست در سمت راست خیابان قرار دارد.

این چنین مجموعه پیچیده‌ای از مسیرها برای ما مشکل خاصی ایجاد نمی‌کند اما فرای قدرت محدود مغز زنبورها می‌باشد. بدلیل آنکه زنبورها در جهت مستقیم پرواز می‌نمایند این جهت‌یابی و دانستن این چنین مسیرهایی برای آنان ضروری نمی‌باشد. این کوتاه‌ترین راه ممکن احتمالی است که تنها توسط مسیر نشان داده شده می‌شود که عبارت است از مسیر مستقیم به سوی هدف. این همچنین می‌تواند میزان دور بودن هدف را نیز نشان دهد(تصویر ۲۰-۴). زنبورهای در حال پرواز از این روش استفاده می‌کنند. ون فریش بعد از اینکه ساعت‌ها صبورانه رقص ارتعاشات شکمی زنبورها را مشاهده نمود، به این نتیجه رسید که جهت زنبورها در طول

فاز جنبشی در ساعات مختلف روز متفاوت است، درحالیکه زنبورهای یکسان از یک کندو یکسان به محل غذای یکسانی سفر کرده بودند. در هنگام تغییر جهت در طول فاز جنبشی تنها چیزی که عوض می‌شود حرکت خورشید در سرتاسر آسمان است. ون فریش به این نتیجه رسید که جهت رقص به محل خورشید در زمان‌های مختلف روز وابسته بوده و در نهایت بدین نتیجه رسید که در اینگونه رقص‌ها اطلاعاتی در مورد جهت‌ها نیز ارائه می‌شود.



تصویر ۱۸-۴: ارتباط از طریق رقصیدن نیازمند آن است که پاهای زنبور رقصنده به طور محکم به شان بچسبد. از این رو زنبور رقصنده بجای رقص در حال حرکت، رقص در حال سکون را به نمایش در می‌آورد. هر شش پای آن (نقاط سفید نشان داده شده) در هنگام حرکات جنبشی (با مکان نمایش داده شده است) روی لبه سلول‌ها ثابت متصل شده است.

جهت همیشه نسبی بوده و به یک نقطه مرجع نیاز دارد. در خارج از کندو محل خورشید و یا زاویه الگوی نور پلاریزه در آسمان به عنوان نقطه مرجع محسوب می‌شود. این درحالی است که رقص‌ها بر سطح عمودی شان‌ها و در محیط تاریک کندو انجام می‌شوند.در چنین شرایطی از محور رو به پایین نیروی جاذبه به عنوان یک نقطه مرجع استفاده می‌شود. زنبورهای در حال پرواز خارج از کندو مکان خورشید را می‌بینند. آنها زاویه‌ای که در رقص ارتعاشات شکمی نسبت به محور جاذبه به آنان نشان داده شده را به زاویه مشابه‌ی بین کندو و خورشید ترجمه کرده و از این رهگذر به سمت منابع غذایی راهنمایی می‌شوند(تصویر ۲۱-۴). در زمانیکه آسمان پوشیده از ابر است جهت الگوی نور پلاریزه شاخصی از محل خورشید محسوب می‌شود.

کد کردن اطلاعات مربوط به یک جهت خاص در رقص ارتعاشات شکمی بسیار وابسته به در دسترس بودن نقطه مرجعی مثل جاذبه است که بر اساس آن پیام‌های مربوط به آن جهت بیان شوند. کد کردن مسیر دقیق تا منبع غذایی تنها در صورتی امکان‌پذیر است که سطح شان

بصورت کاملاً عمودی قرار گیرد، گرچه این چنین تبادل اطلاعاتی هیچگاه صورت نگرفته است. این شکل از ارتباط در کلنی حشراتی مثل زنبورهای مخملی زنبورهای واسپ یا شکارچی و اکثر زنبورهای بدون نیش مناطق حاره که سطح آشیانه عمودی ندارند، موجود نمی‌باشد. گزارش شده که تعداد کمی از زنبورهای بدون نیش شان‌هایی عمودی می‌سازند، درهمین راستا می‌توان مطالعه‌ای را در ارتباط با وجود یا عدم وجود ارتباط رقصی مشابه زنبورعسل در آن‌ها ترتیب داد.



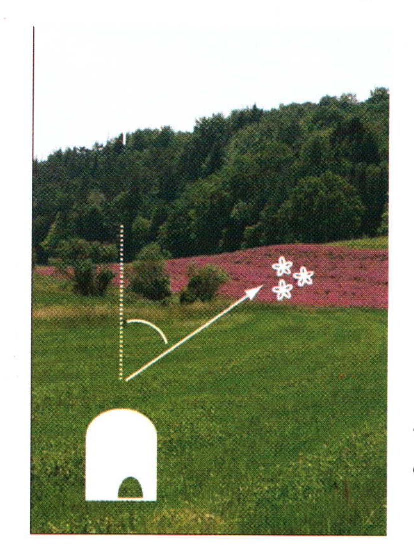
تصویر ۱۹-۴: تنها دنبال کنندگان رقصی که حرکاتشان کاملاً شبیه رقصنده است و برای چند دور آن را تعقیب می‌کنند، اطلاعات مربوط به محل منابع غذایی را دریافت می‌کنند.

رقص ارتعاشات شکمی زنبورهای عسل همچنین شامل اطلاعاتی در مورد فاصله بین کندو تا منبع غذا نیز می‌باشد. این موضوعی فانتزی بوده که در یافتن یک منبع غذایی علاوه‌بر جهت، مسافت نیز بیان شود. یک زنبور تحریک شده که جهت نشان داده شده تا منبع غذایی را دنبال می‌کند که زنبور رقصنده با این اطلاعات به هدف می‌رسد. اطلاعات مربوط به فاصله در رقص در تقابل با اطلاعات جهت قرار داشته و همراه با مشکلات زیادی است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود:

با فرکانس حرکت‌های جنبشی یکسان، هر چه فاز جنبشی طولانی‌تر شود، نشانگر فاصله بیشتری است که می‌بایست تا منبع غذایی طی شود. طول مدت زمان فاز جنبشی به طور نسبی با افزایش فاصله تا حدود چند صد متر اولیه، افزایش می‌یابد و بعد از آن به آرامی افزایش یافته بطوری‌که اطلاعات مربوط به اهداف خیلی دور از دقت کمتری برخوردارند. انسانی که رقص ارتعاشات شکمی را مشاهده می‌کند، بندرت قادر به تشخیص تفاوت بین رقص برای یک

کیلومتر با سه کیلومتر است.

مشکلی دیگر استفاده زنبورها از قوه بینایی به عنوان کیلو متر شمار برای تعیین مسافتی است که هنگام رقص اعلام شده بود. اطلاعاتی که توسط این کیلومتر شمار بدست می آید مربوط به طبیعت محیطی است که زنبور در آنها پرواز کرده است. در زمان پرواز در یک محیط شلوغ با اشیاء فراوان، تصویر اشیاء از جلو واحدهای بینایی (فاسیت‌ها) چشمان مرکب زنبور عبور می‌کنند. این ویژگی منجر به ایجاد یک جریان بصری در قوه بینایی زنبور گشته و کمک شایان توجهی به تخمین سرعت می‌نماید. ما هم به خوبی قادر به انجام چنین کاری هستیم مانند زمانیکه به تصاویر مربوط به عبور سریع یک قطار بر روی ریل راه‌آهن نگاه می‌کنیم. براساس جریان بصری زنبورها همچنین قادر به اندازه گیری مسافت طی شده نیز می‌باشند، کاری که ما اصلاً قدرت انجام آن را نداریم. چند آزمایش ساده بر روی سیستم مسافت شمار زنبورها، انجام یافته که جنبه‌هایی از دنیای زنبورعسل را آشکار ساخته‌اند.زنبورهای عسلی که از تونل باریک با دیوارهای منقش به سمت منبع غذایی پرواز کردند، به طور مصنوعی با جریان بصری زیادی مواجه شدند در حالی‌که مسافت کمی را طی نمودند(تصویر ۲۲-۴).



تصویر ۲۰-۴: زنبورها با استفاده از مدار خورشید مسیر خود را به سمت منابع غذایی پیدا می‌کنند. یک خط سیر (بردار) از کندو، محل منابع غذایی را نسبت به خورشید نشان می‌دهد.

زنبورهایی که بدین طریق فریب داده شدند جریان بصری بیشتر را به فاصله طولانی‌تر تجربه نموده و در نهایت فاز جنبشی طولانی‌تری را نشان دادند. در واقع با این آزمایش مشخص شد که اندازه‌گیری طول فاز جنبشی به عنوان یک مشخصه برای این است که زنبوران تصور کنند چه مقدار می‌بایست پرواز نمایند.

استفاده از تونل فریب برخی از نظریات قدیمی را تأیید نمود و برخی را نیز رد کرد و نقاطی که مورد بحث دانشمندان بود را آشکار ساخت که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌کنیم:

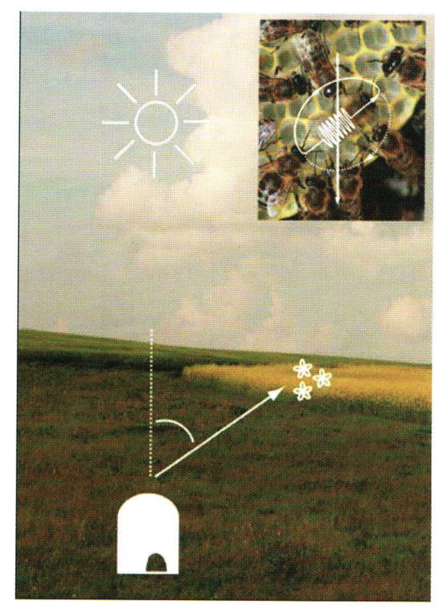
- نظریه‌ای که زنبورها با محاسبه میزان مصرف انرژی، مسافت طی شده را مشخص می‌نمایند، رد شد.
- استفاده از قوه بینایی برای تعیین مسافت، تأیید شد.
- نظریهٔ قدیمی محاسبه مسافت طی شده در زمان دورشدن از کندو ، تأیید شد.
- بحث و جدل‌هایی که بیش از یک دهه بر سر رقص ارتعاشات شکمی زنبورها بود را توضیح داده و معین کرد. این بحث‌ها بر سر آن است که آیا زنبورهایی که فرد رقصنده را دنبال می‌کنند نیز اطلاعات کد شده را در طول فاز جنبشی دنبال می‌نمایند یا نه. تونل باعث شده که زنبورها فاصله ۶ متری تا منبع غذایی را بیش از ۳۰ برابر بیشتر در رقص خود اعلام نمایند(یعنی حدود ۱۸۰ متر). در این شرایط زنبورهای تحریک شده به جستجوی منبع غذایی با اطلاعاتی که در مورد فاصله گرفته بودند به هیچ وجه اطراف منبع غذایی پرواز نکرده و در مکان دورتری که هیچ جذابیتی وجود نداشت دیده شدند. زیرا اطلاعات حاصل از رقص ارتعاشات شکمی را مورد استفاده قرار داده بودند.
- با استفاده از الگوهای رنگی در تونل برای تحریک سه نوع سلول گیرنده رنگ در چشم مرکب زنبور (که به صورت انفرادی به هر یک از رنگ‌های ماوراء بنفش، آبی و یا سبز واکنش نشان می‌دهند) مشخص گردید که تنها گیرنده‌های رنگ سبز برای اندازه‌گیری مسافت استفاده می شوند.
- با دستکاری ساده در رقص زنبور و با استفاده از تونل پرواز، این نکته بدست آمده که ماهیت و ساختار محیطی که زنبور در آن پرواز می‌کند روی اندازه‌گیری مسافت تأثیرگذار است. برای آزمون صحت این نظریه، مسیر پروازی در یک محیط ساده منجر به فاز جنبشی کوتاه‌تر می‌شود درحالیکه همان مسافت در یک محیط پیچیده و شلوغ منجر به فاز جنبشی طولانی‌تر می‌گردد. اگر زنبورها بسوی منابع غذایی با فاصله‌ای یکسان ولی در جهات مختلف پرواز نمایند فاز جنبشی رقص آنان می‌تواند متفاوت باشد. در ادامه یک مثال برای درک بهتر این مطلب آورده شده است: یک فاز جنبشی حدود ۵۰۰ میلی ثانیه در پرواز به سمت جنوب، ۲۵۰ متر معنی می‌دهد در حالیکه همان میزان زمان در پرواز به سمت غرب ۵۰۰ متر معنی می‌دهد (تصویر ۲۳-۴).

از این مطلب می‌توان به دو نتیجه دست یافت:

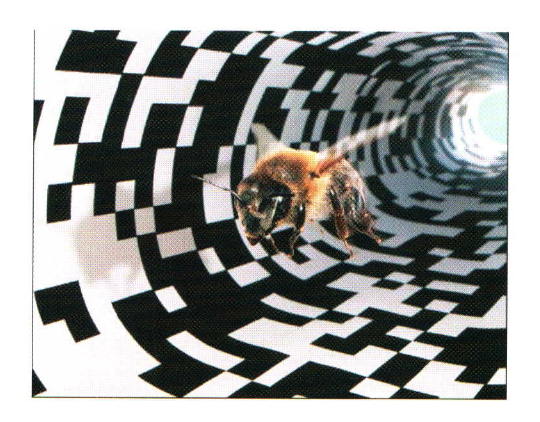
- سیستم مسافت سنجی زنبور اطلاعاتی دقیق از مسافت را ارائه نداده و این سیستم زمانی

مفید است که افراد دنباله‌رو درست در همان جهت (و همان ارتفاع) پرواز نمایند که زنبور رقصنده می‌رود.

- این نظریه که زنبورهای نژادهای مختلف رقص‌های متفاوتی برای یک مسافت معین انجام می‌دهند زیرا لهجه یا به عبارت دیگر روش انجام زبان رقصی آن‌ها متفاوت است نیز دوباره بررسی شود.



تصویر ۲۱-۴: مسیر رقص ارتعاشات شکمی شامل دستور العملی در ارتباط با جهت حرکت و فاصله منبع غذایی از کندو است. در تاریکی کندو جهت جاذبه جایگزین جهت خورشید شده و بر اساس آن جهت حرکت نشان داده می‌شود(پیکان سفیدی که مشخص شده است).



تصویر ۲۲-۴: به یک زنبورکارگر آموزش داده شد که از یک تونل باریک با دیوارهای منقش به سمت منبع غذایی حرکت کند. زنبور در طول این سفر تصاویر متوالی و زیادی را تجربه نمود. در نتیجه جریان بصری بالا منجر به چنان رقص جنبشی شد که فاصله طی شده را غلط نشان داد.

در مقایسه‌ایی که بین زنبورهای نژادهای مختلف در یک فاصله خاص صورت گرفته، مدت زمان فاز جنبشی در زنبورهای نژادهای مختلف تفاوت خیلی کمی داشت . در صورت مقایسه رقص زنبوران یک نژاد برای یک مسافت مشخص. اما در محیطی متفاوت، اختلافات مربوط به محیط بیشتر از اختلافات مربوط به تنوع نژادی بر روی اجرای رقص‌ها تأثیرگذار است. آزمایش کد کردن طول مسیر پرواز در رقص زنبوران نژادهای مختلف در نواحی متفاوت نشان داد که خصوصیات ظاهری محیط بسیار بیشتر از خصوصیات نژادی در این مسئله اهمیت دارند.

یک شرط بحرانی در ترجمه اطلاعات نسبی مربوط به مسافت این است که دنبال‌کنندگان درست همان مسیری را که رقصنده طی کرده، دنبال کنند. بنابراین فشار انتخابی شدیدی در انتقال دقیق اطلاعات و متعاقب آن اجرای اطلاعات مربوط به جهت مسیر که در رقص ارتعاشات شکمی وجود دارد حاکم خواهد بود.

رقصنده‌ها علاوه‌بر مکان، جزئیات مهم دیگری را در ارتباط با مسیر پرواز و منبع غذایی انتقال می‌دهند. مناطق جذاب منجر به رقص با نشاط می‌شوند. در رقص‌های با نشاط، رقصنده‌ها فاز بازگشت به نقطه شروع را نسبتاً سریع گذرانده درحالیکه در رقص‌های با نشاط کمتر این مسیر آرام‌تر طی شده تا به نقطه شروع برسند. مدت زمان فاز جنبشی که حاوی اطلاعات مسافتی می‌باشد، تحت تأثیر میزان جذابیت منبع غذایی قرار نمی‌گیرد.

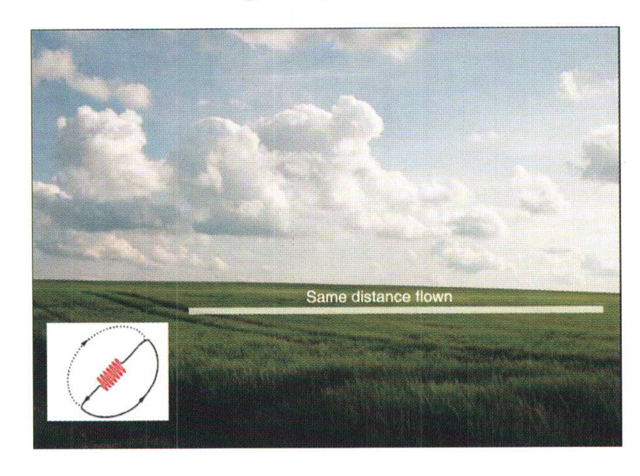
چه چیزی یک منبع غذایی جذاب را تشکیل می‌دهد؟

زنبورها تعداد مختلفی از توانایی‌های ادراکی خود را در یک تصویر تلفیق می‌نمایند. آنچه باعث جذب شدن زنبورها می‌شود تنها کیفیت غذا نیست بلکه اتفاقاتی که در مسیر تجربه می‌شود نیز مؤثر است. برای مثال غلظت بالای شیرینی شهد باعث افزایش نشاط زنبورها شده درحالیکه سختی‌های مسیر مثل بادهای سخت، خطر دشمنان مهاجم و کوچک بودن ورودی به محل منبع غذایی از میزان نشاط می‌کاهد. رقص‌های با نشاط نسبت به رقص با نشاط کمتر دنبال کنندگان بیشتری را به سمت خود جذب کرده و در نهایت افراد بیشتری را به سمت آن محل خاص گسیل می‌دارد.

یک زنبور رقصنده می‌داند که روی کدام یک از اطلاعاتی که در پرواز بین کندو و منبع غذایی به دست آورده بیشتر تأکید کند. اما دنبال کنندگان چگونه این پیام‌ها را درک می‌کنند؟ ضبط تصاویر متحرک خیلی آهسته کمک ارزشمندی در روشن شدن این موضوع انجام داد. زنبورهای دنبال کننده از شاخک خود جهت درک حرکاتی که جهت و مسافت را کد کرده‌اند، استفاده می‌کنند.

دنبال‌کنندگان رقص با استفاده از حس لامسه شاخک‌های خود، اندازه حرکات موجود در سکانس‌های متوالی رقص که حاوی اطلاعات کد شده جهت و مسافت است را درک می‌کنند. بطور صحیح، دنبال‌کنندگان در طول رقص بی‌حرکت ایستاده و شاخک‌های خود را مستقیم به سمت روبرو و با زاویه ۹۰ تا ۱۲۰ درجه نسبت بهم باز نگه می‌دارند. آنها همچنین آنقدر به رقصنده نزدیک شده که ریتم حرکات جانبی شکم فرد رقاص به شاخک‌های آنان منتقل شود. دنبال‌کنندگان اگر در فاز جنبشی زاویه درستی نسبت به زنبور رقصنده بگیرند، هر دو شاخک آنها بطور همزمان تحریک شده و به حرکت در می‌آیند و اگر آنان درست در پشت سر رقصنده باشند وضعیت شاخک نیز تغییر خواهد نمود. ترکیبات مختلفی از وضعیت قرار گرفتن شاخک برای اینکه افراد دنباله‌رو در جلو و یا در پشت سر رقصنده باشند وجود دارد. (تصویر ۲۴-۴). درحالیکه دنبال‌کنندگان ثابت ایستاده‌اند، رقصنده‌ها در طول فاز جنبشی به جلو متمایل می‌شوند. بنابراین الگوی جابجا شدن شاخک‌های دنبال‌کنندگان بر اساس یک مدل قابل پیش بینی تغییر می‌کند. هر دنبال‌کننده بواسطه حس شناسایی جاذبه، از مکان خود در شان آگاه است. بنابراین با استفاده از حس جهت یابی خود در فضا و جابجایی‌هایی که در شاخک‌ها رخ می‌دهد، فرد دنبال‌کننده می‌تواند حالت رقصنده را در شان درک نماید . طول فاز جنبشی که مسافت پروازی را کد می‌کند مرتبط است با مدت زمانی‌که شاخک دنبال‌کننده تحریک می‌شود.

تاکنون به تمامی پرسش‌های مطرح شده در ارتباط با وقایعی که در طول رقص رخ می‌دهد، پاسخ داده نشده است. شرایط امروز ما مشابه زمانی‌ست که رقص‌ها برای اولین بار کشف شده بودند: ما اطلاعاتی از ارتباط بین مکان رقصنده و دنبال‌کنندگان را داشته و الگوی جابجایی شاخک‌های آنان را نیز می‌دانیم. این نکته که جابجا شدن شاخک‌ها برای انتقال اطلاعات استفاده می‌شود نیز مسلم است.





تصویر ۲۳-۴: محل کندو زنبورها در هر دو جهت ثابت است. تفاوت در جزئیات محیطی که زنبور در آن پرواز می‌کند، منجر به این می‌شود که در مسافت یکسان دو نوع رقص جنبشی را به نمایش بگذارد.

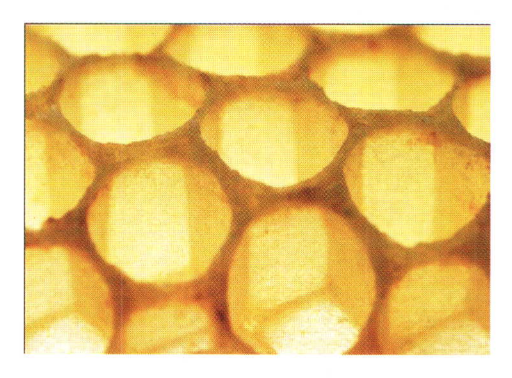
رقصنده و زنبورهای دنبال‌کننده در مکان خاص اجرای رقص که از لحاظ شیمیایی برای اینکار مشخص کرده‌اند همدیگر را ملاقات می‌کنند(فصل ۷). زمانیکه اطلاعات مربوط به محل منبع غذایی از طریق شاخک‌ها دریافت می‌شود یک ارتباط مهم در این فرآیند هنوز مشخص نیست و آن این است که چگونه زنبورهای علاقه‌مند افراد رقصنده را در محل تاریک، شلوغ و پر ازدحام اجرای رقص پیدا می‌کنند؟



تصویر ۲۴-۴: در یک کندوی تاریک، زنبورهای دنبال‌کننده از شاخک خود مانند یک فرد نابینا برای تشخیص حرکات رقصنده استفاده می‌کنند. حرکات ریتمیک عقب و جلوی رقصنده به شاخک امتداد یافته دنبال‌کنندگان منتقل می‌شود. الگوی بی‌نظیری از ارتباط بین بدن رقصنده و شاخک‌های دنبال‌کنندگان مشخص کننده مکان نسبی رقصنده است. در این حرکات اطلاعات مربوط به جهت و مسافت منبع غذایی کد شده است.

استفاده از ابزارآلات استراق سمع پیشرفته همراه با مشاهده جزئیات رفتاری فاز جنبشی، نقش مهمی در تشخیص اهمیت لرزش شان بازی می‌کند. خواص شیمیائی محل رقص و همچنین حالت فیزیکی آن منجر به راهنمایی زنبورهای محلی یکسان می‌شود. در تاریکی کندو، لرزش‌های شان قوه ادارک دنبال‌کنندگان را مستقیماً به سوی رقصنده هدایت می‌کند. این لرزش‌ها از طریق دیواره ضخیم سلول‌های شان که شبکه‌ای را در سطح شان تشکیل می‌دهند منتقل می‌شوند (تصویر ۲۵- ۴ و ۲۳-۴).

زنبورها با کمک عضلات پروازی با قدرت قفسه سینه خود این لرزش‌ها را تولید می‌کنند. زنبورها عضلات قفسه سینه را درحالی با تمام قدرت به حرکت در می‌آورند که بال‌های آنها حرکت اندکی را نشان می‌دهند. موتورهای پروازی دائماً منقبض و منبسط نمی‌شوند اما پالسهایی را تولید می‌کنند که با حرکات چپ و راست شکم در فاز جنبشی هماهنگ است . توالی پایه (فرکانس) این حرکات بین ۲۳۰تا ۲۷۰ سیکل در ثانیه است.



تصویر ۲۵-۴: دیواره ضخیم سلول‌های شان‌های مومی در انتهای بالایی به سطح برجسته ختم می‌شوند. این‌ها با هم شبکه پیوسته‌ای را در سطح دیواره سلول‌ها تشکیل می‌دهند.

در برخی موارد "رقص‌های صامت" هم می‌تواند روی دهد که از لحاظ ظاهر برای مشاهده کنندگان انسانی متفاوت نبوده و اما در آن لرزش موتورهای پروازی وجود ندارد. رقصنده‌های صامت در جذب دیگران و همراه کردن کارگرهای تازه نفس با اقبال مواجه نمی‌شوند. حرکات جنبشی قابل توجه همراه با لرزش عضلات پروازی بوده و در نهایت لرزش‌ها از طریق پاها به شان منتقل می‌شود. یک رقصنده سبک وزن که روی لبه سلول‌ها ایستاده یا حتی حرکت نیز می‌کند، نمی‌تواند هیچ انرژی قابل توجهی را از طریق پاهای ظریفش به شان منتقل کند. در طول حرکات جنبشی، توسط پاهایش به دیواره سلول‌ها چسبیده و با کشش پاهایش به سمت چپ و سپس راست متمایل می‌شود. این کشش در نقطه بازگشت حرکات جنبشی به حداکثر می‌رسد زیرا این واقعیت در زمانی اتفاق می‌افتد که زنبورها محکم به لبه سلول‌ها آویزان هستند و در این زمان که دیواره در حداکثر کشش قرار دارد، لرزش‌ها به شان منتقل می‌شوند. زنبورها با هر بار تغییر جهت حرکات شکم یک پالس لرزشی نیز همراه می‌کنند.

سیگنال‌های لرزشی که رقصنده‌ها تولید می‌کنند در مقایسه با صدای وزوز قوی‌یی که در کندو حاکم است، بسیار ضیف می‌باشد. در تمام سیستم‌های ارتباطی چه طبیعی و چه مصنوعی اساس بر این است که پیام‌ها و سیگنال‌ها تا آنجا که می‌شود بلند و واضح به دست گیرنده برسند. وزوز بلند معمولاً در کندوی زنبورها همیشگی بوده و سیگنال‌های لرزشی ارتعاشات شکمی یک زنبور در میان این سرو صدا خیلی ضعیف بنظر می‌رسد.

چگونه زنبورهای جذب شده در سروصدای کندو می‌توانند این سیگنال‌های ضعیف را دریافت کنند؟ خاصیت فیزیکی لرزش‌های شان در این وضعیت بسیار بحرانی است که در فصل هفتم با جزئیات بیشتر بررسی می‌شود به نظر می‌رسد که الگوی لرزشی در سطحی افقی که زنبور از لبه سلول‌ها با هر شش پای خود درک می‌کند(تصویر ۲۷ – ۴) جهت و فاصله فرد

رقصنده بر روی سطح شان را نسبت به خود درک می‌نماید. (تصویر۲۶-۴). لرزش‌های شان، دنبال‌کنندگان رقص را فقط به سوی فرد رقصنده راهنمایی می‌کند و هیچ اطلاعاتی در مورد محل منبع غذایی ندارد. با اینکه اطلاعات مناسبی در مورد زبان رقص زنبورها داریم، هنوز سؤالات زیادی بدون پاسخ باقی مانده است. برخی از وقایع غیر عادی در مورد فاز جنبشی و مکان منبع غذایی به شرح ذیل می‌باشد:

- جهت فاز جنبشی متوالی که برای یک هدف انجام می‌شود، با یکدیگر متفاوت است.
- مدت زمانی که فاز جنبشی طول می‌کشد، طول مسافت تا منبع غذایی را کد کرده و بستگی مستقیمی به ساختار ظاهری محیط دارد.
- با افزایش فاصله از دقت مسافت پرواز اعلام شده در حین رقص کاسته می‌شود. برای ۲ تا ۳ کیلومتر مسیر پروازی اولیه (فاصله نرمالی که کارگرها معمولاً در آن محدوده پرواز می‌کنند) فاز جنبشی تقریباً شبیه هم می‌باشد و برای فاصله‌های دورتر اطلاع رسانی از طریق رقص بی‌دقت‌تر می‌شود گرچه زنبورها می‌توانند تا مسافت ۱۰ کیلومتری را به جستجوی غذا بپردازند.

چگونه زنبورهای تحریک شده برای جستجوی غذا با این چنین اطلاعات غیردقیقی محل منابع غذایی را پیدا می‌کنند؟



تصویر ۲۶-۴: زنبورهای جذب شده در کندوی تاریک، محل رقصنده را از طریق نوسانات ارتعاشی دوبعدی دیواره سلول‌ها پیدا می کنند. در این شکل دیواره‌های سلولی که با خط سفید مشخص شده، در جهات مختلف حرکت کرده و دیواره‌های سلول‌های مجاور را نیز حرکت می‌دهند(تصویر۲۷-۴). زنبورها ارتعاش دیواره‌ها را با پاهایشان درک می‌کنند. به محض اینکه زنبورها این ارتعاشات را دریافت می‌کنند، جهت سر خود را در جهت رقصنده قرار داده و بدنشان را چرخانده و به گروه دنبال‌کنندگان می‌پیوندند.

زنبورهای جستجوگر غذا، لطفاً علائم را دنبال کنید.

مشاهده افراد تحریک شده که رقصنده را برای چندین دور تعقیب می‌کنند، بسیار آگاهی بخش است. زنبوری که برای اولین بار برای ملاقات یک منبع غذایی پرواز می‌کند ۳۰ مرتبه بیشتر از زمانی طول می‌کشد که یک زنبور با تجربه قبلاً آنجا را ملاقات کرده باشد. برای زنبوری که از محیط اطراف شناخت دارند، پیداکردن محل برای یک زنبور با تجربه حدود ۴۰ ثانیه طول می‌کشد این درحالی‌ست که زنبورهایی که تازه وارد محیط شده‌اند و تنها، شاهد رقص بوده‌اند حدود ۲۰ دقیقه زمان نیاز دارند تا محل غذا را پیدا کنند. اگر منبع غذایی بوی جذابی داشته باشد و باد رایحه آن را مستقیماً به سمت کندو بیاورد، مدت زمان پرواز تازه واردها بطور قابل توجهی کم می‌شود. رقصنده‌هایی که به منابع غذایی بدون رایحه سرکشی می‌کنند ظاهراً در محل‌هایی با یکدیگر به تبادل اطلاعات می‌پردازند. زنبورها بدون تجربه و با تجربه در گروه‌های کوچک ۱۰ عضوی به سمت مکان منبع غذایی پرواز می‌کنند. آنهایی که با تجربه بوده ابتدا بر روی منبع غذایی نشسته و بلافاصله به دنبال آنها بی‌تجربه‌ها می‌نشینند (تصویر ۲۷-۴) . گاهی از اوقات نشستن پشت سرهم روی داده بطوریکه زنبورهای با تجربه در پائین و کم تجربه‌ها در بالا قرار می‌گیرند.

تشکیل چنین گروه زنبورهای جستجوگر چگونه شکل می‌گیرد؟ اطلاعات ما در ارتباط با این موضوع خیلی ناچیز است، اما به نظر می‌رسد که زنبورهایی که در کندو می‌رقصند به دیگر زنبورهای دنبال کننده در دشت کمک می‌کنند. زنبوری که به یک منبع غذایی سرکشی کرده و در کندو اطلاع رسانی نکرده، بلافاصله در یک خط مستقیم به آنجا برمی‌گردد و روی گل‌ها می‌نشینند. کارگری که اطلاع رسانی کرده در یک مسیر دایره‌وار بزرگ دور هدف چرخیده و وزوز بلندی تولید می‌کند. قبل از اینکه ون فریش سیستم ارتباطی رقص زنبورها را کشف کند، بر این عقیده بود که آنها از طریق اصوات دیگر افراد کلنی را به سمت منابع غذایی هدایت می‌کنند. سرعت پائین پرواز همراه با وزوز این اجازه را به مشاهده کننده‌ها می‌دهد که نوارهای کم رنگ روی شکم زنبور وزوز کن را تشخیص دهند. این رنگ‌ها به دلیل باز بودن غدد نازانوف است که در دو بند آخر شکم زنبور قرار دارند. این غدد ترشحات بوداری بنام ژرانیول ترشح می‌کنند که اهمیت خاصی در رفتارهای مختلف زنبورها دارد(تصویر ۱۳-۴ را نیز مشاهده کنید). زنبورهایی که وزوز نمی‌کنند و دنباله‌رو هم ندارند غدد نازانوف خود را بسته نگه می‌دارند. نکته جالب توجه آن است که در هنگام ترک کندو هیچ گروهی از زنبورهای تازه تحریک شده و جستجوگران با تجربه تشکیل نمی‌شود. به نظر می‌رسد این گروه در مکانی بین کندو و منبع غذایی تشکیل می‌شود.

گروه دیگری از زنبورها نیز وجود دارند که بدون هیچ کمکی، تنها پس از دنبال نمودن فرد

رقصنده به سرعت به محل منبع غذایی می‌روند. این‌ها زنبورهای با تجربه‌ایی هستند که در مورد آن منطقه اطلاعاتی دارند و یا اینکه چند روز زودتر به آنجا سرکشی کرده‌اند. کارگرهایی که در یک منطقه کار کرده و شهد جمع می‌کنند اگر با یک نقطه رنگی مشخص شوند، مشاهده شده.



تصویر ۲۷-۴: افرادی که تازه برای جستجوی منابع غذایی پرواز می‌کنند توسط جستجوگران باتجربه به سمت گل‌ها هدایت می‌شوند. این اغلب منجر به نشستن پشت سر هم آنان می‌شود.

که در کندو هم نزدیک یکدیگر می‌مانند و حتی شب را در یک دسته سپری می‌کنند (تصویر ۲۸-۴). این چنین زنبورهایی اغلب در رقص‌های مشابه شرکت نموده بطوریکه یکی از آنان رقصنده و مابقی آنرا دنبال می‌کنند(تصویر ۲۹-۴) . بنابراین رقصنده‌ها نه تنها افراد دنباله‌رو تازه را بلکه زنبورهای باتجربه را نیز تحریک نموده، حتی اگر آنان همان منبع غذایی را قبلاً ملاقات کرده بودند. از این رهگذر، زنبورهای باتجربه ممکن است اطلاعات خود را در مورد منابع غذایی به مورد جدید تغییر دهند. زنبورها حس دقیقی از شنوایی ندارند بنابراین اصوات حاصل از"پرواز همراه با وزوز کردن" در نزدیک منابع غذایی برای دنبال‌کنندگان قابل درک نبوده و تنها برای جهت‌یابی استفاده می‌شود. با این حال این نوع پرواز می‌تواند بصورت بهینه قوه تشخیص حرکت زنبورها را تحریک نماید. تولید صدای وزوز در طول پرواز احتمالاً به دلیل آشفتگی هوایی است که در زیر بال‌های زنبور تشکیل می‌شود و تعمدی در ایجاد آن وجود ندارد. این آشفتگی هوا همانند امواج ایجاد شده در سطح آب بدلیل حرکت کشتی و یا چرخشی هوا در پشت هواپیما، برای مدتی باقی مانده و وقتی با ترشحات فرومونی بودار غدد نازانوف همراه می‌شوند، به عنوان یک راهنمای اضافی افراد تازه تحریک شده را به سمت محل مورد نظر راهنمایی می‌کند.

بسیاری از شاخصهای ارتباطی که برای تحرک گروه کوچک بچه کندو برای عزیمت به مکان منابع غذایی استفاده شده همچنین در رفتار بچه‌دهی حقیقی قابل مشاهده است. گروه‌های

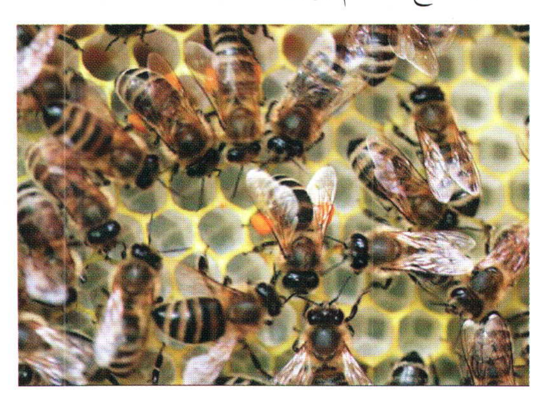
کوچک بچه‌کندو همانند گروه‌های واقعی و بزرگ تحت فشار انتخابی یکسانی نبوده زیرا سرانجام کل کلنی بر پایه شانس نیست. در بچه‌دهی حقیقی گروه جدا شده می‌بایست به سرعت آشیانه‌ایی برای خود بیابد وگرنه به زودی هلاک می‌شود.



تصویر ۲۸-۴: کارگرهای با تجربه‌ای که به یک منبع غذایی خاص سرکشی کرده‌اند در گروهی نزدیک هم در کندو قرار گرفته و یک گروه رقص باله را تشکیل می‌دهند.

(تصویر ۲۸-۴). رفتاری که برای تحریک زنبوها برای عزیمت به مکان منابع غذایی استفاده می‌شود احتمالاً از رفتار بچه‌دهی حقیقی الهام گرفته است.

تحریک افراد برای رفتن به سوی منبع غذایی ناشی از یک رفتار پیچیده است که در طی آن زنبورها در کندو و یا در دشت با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. بوی گل‌ها که به بدن افراد جستجوگر جذب شده و همچنین پخش شدن بوی گل‌ها از طریق باد به عنوان یک سیگنال بویایی برای زنبوران کمک بزرگی خواهد بود. یک کلنی زنبور اگر در مکانی قرار بگیرد که منابع غذایی کافی در اختیارش باشد، حتی اگر توده جهت‌یابی و رقص و نیروی جاذبه را از آنها بگیریم می‌توانند به رشد طبیعی خود ادامه دهند، زیرا اگر گل کافی در دسترس باشد آنها با استفاده از شانس و قوه بویایی خود می‌توانند احتیاجاتشان را رفع کنند. ارتباط رقصی، زمانی خیلی با اهمیت می‌شود که منابع غذایی در دسترس محدود باشند. در این شرایط افراد جدید تحریک شده می‌بایست بطور متمرکز به برداشت از منابع اهتمام بورزند.



تصویر ۲۹-۴: جمع کنندگان با تجربه به گرده که در یک مکان کار می‌کنند در گروهی مشغول رقصیدن می‌باشند.

۵ تکثیر طبیعی کلنی‌های زنبور عسل

بیشتر اطلاعات موجود ما در ارتباط با روابط جنسی زنبورهای عسل از روی گمانه زنی است.

روابط جنسی باعث بر قراری تنوع و گوناگونی در ویژگی‌های یک جمعیت می‌شود. با ادغام سلول تخمک و اسپرم، یک ژنوتیپ جدید بوجود می‌آید که در نهایت منجر به نامتجانسی در فنوتیپ شده و افراد جدیدی را بوجود می‌آورد. زنبورهای عسل هم به هیچ وجه از این قانون کلی مستثنی نیستند اما با این حال از جهات مختلفی در نظر ما غیرطبیعی هستند.

موجودات ماده بطور کلی گامت‌های نسبتاً کمی تولید می‌کنند اما این گامت‌ها از لحاظ اندازه درشت و سرشار از مواد غذایی و باارزش هستند. این ویژگی از لحاظ زیست شناسی تعریفی از جنس ماده است. از سوی دیگر نرها سلول‌های اسپرم زیادی تولید نموده زیرا اسپرم‌ها بسیار کوچک و متحرک شده‌اند. از نظر فنی تعداد کمی از نرها در هر جمعیت قادر هستند تمام ماده‌ها را بارور سازند.

در زنبورهای عسل شرایطی درست برعکس آنچه یاد شد، حاکم است. برای حداکثر ۱۰ ملکه جوانی که کندو تولید می‌کند، بین ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ زنبور نر در هر کلنی وجود دارد.

در این مقطع بدون توجه به دلیل این ناهماهنگی (در فصل آخر کاملاً توضیح داده خواهد شد.) این مسئله هنوز قابل توجه است که چرا تعداد نرها و ماده‌ها در جمعیت یکسان است.

در چنین وضعیتی رقابت نرها بر سر ماده قابل تصور می‌باشد زیرا تنها تعداد کمی از نرها کافی هستند تا اسپرم مورد نیاز همه ماده‌ها را تأمین نمایند. فضای رقابتی شدید در چنین جمعیتی حاکم بوده و نرها ویژگی خود را با رقابت و نبرد در رفتار جفت‌گیری، بطور کاملاً واضح نشان می‌دهند.

در کلنی‌های زنبورعسل روی هم رفته هزاران نر برای یک ماده وجود دارد. در این شرایط می‌بایست رقابت بسیار شدید باشد، اما همانگونه که بعداً مشاهده می‌کنیم ، اوضاع اینگونه نبوده و این امر در صلح و آرامش صورت می‌پذیرد.



تصـویر ۱-۵ : زنبورهـای نـر قابلیـت پـرواز زیـادی دارنـد ولـی نمی‌توانند بدون استراحت آنرا به کار گیرند. می‌توان آنهـا را در حـال استراحت روی گیاهان، حتی در فصل‌های جفت‌گیری مشاهده نمود.

برای پاسخ به این پرسش کـه چگونـه زنبورهـا ایـن چنـین کـاری را انجـام مـی‌دهنـد، مـا توضیحاتی پیدا کردیم که بر اساس جزئیات روابط جنسی غیرطبیعی زنبورها می‌باشـد. بررسـی این موضوع باب جدیدی در حوزه بیولوژی زنبورهای عسل گشوده است و اطلاعات ناقص ما را در این زمینه پوشش می‌دهد.

تنها تعداد کمی از حدود یک میلیون دختری که یـک ملکـه در طـول زنـدگی خـود تولیـد می‌کند، در طول زندگی‌شان جفت گیری می‌کنند. زیرا ایـن‌هـا ملکـه‌هـای جـوانی هسـتند کـه منحصراً در یک "پرواز زفافی" (یا پرواز جفت‌گیری) در یک دوره کوتاه از زندگی‌شان، شرکت می‌کنند. این وضعیت برای جمعیت خیلی زیادتر نرها نـه تنهـا بهتـر نیسـت ، بلکـه بـدتر هـم می‌باشد. تنها بخش اندکی از این هزاران زنبور نر در فرایند جفت‌گیـری شـرکت مـی‌نماینـد و سپس بهای آن را به قیمت جانشان می‌پردازند.

پرواز زفاف (جفت‌گیری)

از آنجائیکه مشاهده رفتار جفت‌گیری زنبورهای عسل بسیار مشکل می‌باشد، این مسـئله بـه یک راز تبدیل شده و افسانه‌های زیادی پیرامون آن ساخته شده است . اجتماع زنبورهای نـر در محلی که جفت‌گیری در آن صورت می‌گیرد نیز کاملا" آشکار نمی‌باشـد. نرهـای جدیـد یـک هفته بعد از تولد از لحاظ جنسی بالغ می‌شوند و هر ساله در یک مکان خاص تجمع نمـوده و در گروه‌های متمرکز و پر سر و صدا در هوا پرواز می کنند و در انتظار ورود ملکه‌های جوان به سر می‌برند.

اما چگونه یک ملکه که گاهی ممکن است توسط یک زنبوردار به مکانی منتقل شود که هرگز آنجا نبوده، اجتماع نرها را پیدا می کند؟ چرا هیچ رقابت خشونت باری در فرایند تلاش برای جفت‌گیری با ملکه در بین نرهای یک کلنی و یا با نرهای کلنی‌های دیگر وجود ندارد؟ و چرا زنبورهای کارگر نسبت به وقایع هیجان‌انگیزی که در فرایند جفت‌گیری روی می‌دهد، بی تفاوت و خونسرد هستند؟ آیا واقعاً برای یک کلنی معقول است که تنها تعداد کمی ملکه جدید پرورش بدهد، درحالیکه این‌ها افراد با ارزشی هستند و تولید مثل کلنی به آنها وابسته است، به آنان اجازه دهد که تنهایی به محیط خطرناک و ناشناس بیرون گام بگذارند؟

سؤالات پشت سؤالات دیگر مطرح می‌شود و پاسخ‌های آنها آهسته و اندک اندک بدست می‌آیند. اما در این دنیای پازل مانند جفت‌گیری زنبورها، تعدادی نقاط مرجع اثبات شده نیز وجود دارد. برای مثال تجمع جمعیت نرها که در سرتاسر جهان مشاهده شده است، می‌تواند منطقه ای در حدود ۳۰ تا ۲۰۰ متر را پوشش دهد. این تجمع معمولاً در مناطقی از سطح زمین شکل می‌گیرد که معمولاً دربردارنده اجسامی است که از نقطه دید نرها واضح بوده و برای آنان جذاب است. به عنوان مثال می‌توان درختان بزرگ، اشیاء تیره در مقابل آسمان روشن و درخشان یا فاصله‌های روشن در یک زمینه تیره را بعنوان اجسام جذاب نام برد. دنبال کردن آب‌های سطحی و زیرزمینی به عنوان عناصر احتمالی کمکی در جهت‌یابی مطرح شده‌اند.

با این وجود بصورت شگفت‌انگیزی تشکیل این چنین تجمعی در مکان‌های خاص ضروری نمی‌باشد، زیرا جفت‌گیری در مکانی صورت خواهد پذیرفت که هیچ جمعیت نری هرگز آنجا مشاهده نشده است . این ویژگی ذکر شده منجر به شک دانشمندان در مورد اجتماع زنبورهای نر منتج از یک رفتار تجمعی براساس علائم زمینی شده است. اگر علائم زمینی قابل توجهی در دسترس باشد، تجمع شکل می‌گیرد و جفت‌گیری در هر وضعیتی انجام خواهد شد. حتی در مکان‌هایی که اجتماع نرها روی می‌دهد پرواز توده نرها در یک مکان ثابت نبوده و تغییر مسیر پروازی نسبتاً سریع آنان در منطقه مورد نظر قابل مشاهده است. تجمع نرها همچنین ممکن است مکرراً از هم گسسته شده ولی بطور مجزا در مکان‌های دوم و یا سوم دیگری شکل گیرد. در محل‌های تجمع نرها توسط شبکه متراکمی از تجمع خوشه‌ای شکل آنان پی در پی در حال ظهور است.

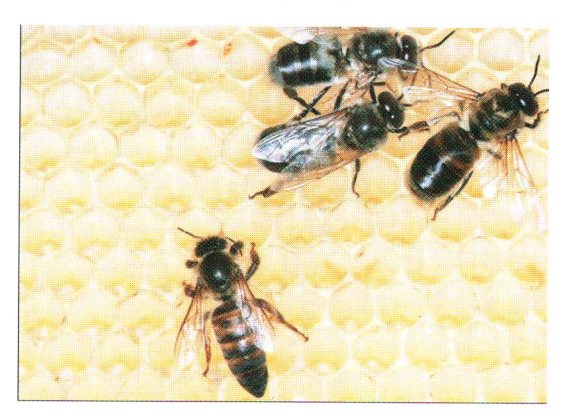
زنبورهای نر بر خلاف آنچه که تصور می‌شد بعد از ترک کندو مدت زیادی در هوا نمی‌مانند و براحتی می‌توان آنها را که بر روی گیاهان زمینی یا برگ‌ها و شاخه‌های درختان، در حال استراحت هستند یافت(تصویر ۱-۵) در انتهای فصل جفت‌گیری آنها از کندو طرد می‌شوند (تصویر ۲-۵).



تصویر ۲-۵ : اندام‌های تناسلی زنبورهای نر در انتهای فصل جفت‌گیری به حداکثر رشد خود می‌رسند. آنهایی که در کندو هستند، دیگر تغذیه نشده و از کندو طرد می‌شوند و سرانجام می‌میرند.

بنابراین زنبورهای نری که در خارج از کندو می‌نشینند و یا پرواز می‌کنند منتظر چه هستند؟ البته، ملکه‌های جوان.

ملکه‌های باکره‌ایی که بیش از یک هفته سن دارند، کندوی خود را یک بار یا بیشتر و برای مدت کوتاه چند دقیقه‌ایی (و گاهی حتی تا یک ساعت) ترک می‌کنند و پس از یک جفت‌گیری موفق به کلنی خود باز می گردند. یک ملکه می‌تواند کندو را چندین بار به منظور "پرواز زفاف" ترک نماید و آنقدر به این پرواز ادامه دهد که کیسه ذخیره اسپرم او پر شود. یک زنبور نر می‌تواند تا ۱۱ میلیون اسپرم را به ملکه منتقل کند. در انتهای یک پرواز جفت‌گیری، ملکه ۶ میلیون سلول اسپرم بدست آورده که تنها ۱۰٪ ، اسپرم‌های مورد نیاز برای باروریش می‌باشد . او اسپرم‌ها را در کیسه ذخیره اسپرم خود نگاه داشته و سپس به کندوی خود باز می‌گردد. اسپرم‌ها در کیسه منی ملکه برای چندین سال تازه مانده و قادر هستند بیش از ۲۰۰۰۰۰ تخم را در هر سال بارور کنند.



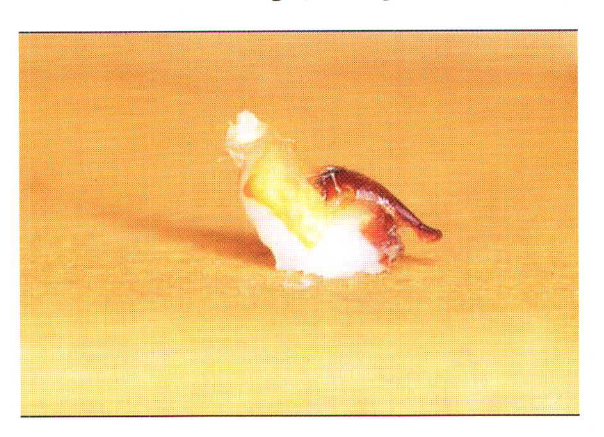
تصویر ۳-۵ : ملکه‌ها ی باکره و زنبورهای نر کنار یکدیگر در کندو زندگی می‌کنند.

زنبورهای نر از اواخر صبح تا اواسط بعد از ظهر کندو را ترک می‌کنند که این زمان مصادف با وقتی است که ملکه کندو را ترک می‌کند. خیلی اوقات ملکه‌های جوانی که پروازشان کاملاً موفقیت‌آمیز بوده دیگر کندو را ترک نمی‌کنند، این درحالی است که نرها بدون توجه به این موضوع هر روز از کندو خارج می‌شوند. پرواز روزانه زنبورهای نر در بیشتر اوقات بدون جفت‌گیری انجام می‌شود که خود این واقعیت نشانگر رقابت قابل توجه نرهای کلنی‌های مختلف در یک منطقه خاص است. حجم وسیعی از خروج روزانه و بی‌ثمر زنبورهای نر از کندو که گاهی تا هفته‌ها ادامه می‌یابد، ریسک از دست دادن ملکه جوانی که خارج از آشیانه است را کاهش می‌دهد. درنهایت پاداش احتمالی این چنین تلاش‌هایی، پدر شدن هزاران فرزند است.

سرمایه‌گذاری وسیع روی تعداد زنبورهای نر و فعالیت پروازی آنها ممکن است با عدم رفتار آنان همراه شود. در مقابل در بعضی گونه‌ها با زندگی انفرادی اتفاق جالبی می‌افتد و رقابت بین نرها به سطح اسپرم‌هایشان کشیده می‌شود. این پرسش با عنوان رقابت اسپرم‌ها در دستگاه تناسلی ماده شناخته شده و در طی آن یک رقابت فیزیکی بین اسپرم‌ها برای دسترسی به تخمک برقرار می‌شود. در این حالت، موفقیت متضمن میزان اسپرم تلقیح شده است.



تصویر ۴-۵ : یک زنبور نر اندام تناسلی خود را بیرون آورده است. کیسه بزرگ و سفید دارای اسپرم می‌باشد. دو قلاب رو به پائین او را در طول جفت‌گیری به دستگاه تناسلی ماده قفل می‌کنند.



تصویر ۵-۵ : بعد از یک حفت‌گیری موفق ، بخشی از اندوفالوس در ابتدای دستگاه تناسلی ماده باقی مانده و بعد از پرواز جفت گیری به عنوان نشانه‌ای از ایجاد باروری به کلنی آورده می‌شود.

در یک کلنی زنبورعسل، زنبورهای نر در اصل (عملاً)حاملین اسپرمی هستند که می‌توانند پرواز کنند. آن‌ها در گروه‌های بزرگی به محل‌های جفت‌گیری عزیمت می‌کنند و عملی درست مشابه عملی که یک اسپرم در رقابت اسپرم‌ها انجام می‌دهد را به اجرا درمی آورند یعنی با جمعیت انبوه خود جایگزین رقبایشان می‌شوند.

ملکه‌ها تنها در زمانی‌که خارج از کندو به سر می‌برند رایحه‌ای را ایجاد می‌کنند که زنبورهای نر را به شدت جذب می‌کند. ملکه و زنبورهای در درون آشیانه حتی اگر برای هفته‌ها در کنار یکدیگر زندگی کنند، همدیگر را نادیده گرفته (تصویر ۳-۵) و هیچ فعالیت تولید مثلی صورت نمی‌دهند.

از مطالعات ژنتیکی صورت گرفته این نکته بدست آمده که ملکه در پرواز زفافی که گاهی ممکن است تنها پرواز در تمام زندگیش باشد، با تعدادی نر جفت‌گیری می‌نماید. در هنگام پرواز ملکه‌های باکره، ماده فریبنده‌ای را از غدد آرواره‌ای ترشح می‌کنند و نرها آنها را برخلاف جهت باد دنبال کرده تا به ملکه دسترسی پیدا کنند. در درون کلنی، همچنین ماده‌ای که از غدد آرواره‌ای ملکه ترشح می‌شود از رشد تخمدان کارگرها جلوگیری می‌نماید.





تصویر ۶-۵ : بال غشائیانی که کلنی تشکیل می‌دهند، مثل زنبورهای مخملی و زنبورهای واسپ، هیچگاه در پرواز جفت-گیری نمی کنند و این عمل را روی زمین انجام می‌دهند.

زمانی‌که نرها یک ملکه درحال پرواز را هدف بگیرند، به سرعت و با استفاده از قوه بینایی خود در پشت سر او پرواز می‌کنند، مثل اینکه با یک نخ نامرئی به وی چسبیده‌اند. اگر به ملکه دسترسی پیدا کنند، وی را در بین پاهای خود نگه می‌دارند و اندام جفت‌گیری خود را در دستگاه تناسلی ملکه قفل می کنند. در حدود نیمی از اندوفالوس خود را بیرون آورده و سپس توسط این اندام به بدن ملکه منفعلانه آویزان می‌مانند. در همین حال که نر بدون حرکت است،

باقی اندوفالوس نیز خارج شده (تصویر ۴-۵) و در نهایت خود ملکه با انقباض عضلات شکمی، سلولهای اسپرم را منتقل می‌کند. در این واقعه پاره‌گی شکم نر که گاهی قابل سمع نیز می‌باشد، پدیده غیرعادی محسوب نمی‌شود. پاره‌گی محوطه شکمی منجر به مرگ فوری زنبور نر می‌شود. اندوفالوس (بخشی از دستگاه تناسلی نر) متصل به ملکه باقی می‌ماند و نشانه جفت‌گیری وی محسوب می‌شود. این قسمت برای نرهایی که ملکه را تعقیب می‌کنند بسیار جذاب است و شامل موکوسی چسبنده و نارنجی رنگ (با انعکاس فرابنفش) از غدد اندوفالوس می‌باشد (تصویر ۴-۵). اندوفالوسی که محکم چسبیده است مانعی برای دسترسی دیگر نرها به ملکه نمی‌باشد بلکه رایحه جفت‌گیری و بازتاب اجزای خاصی در نور ماوراءبنفش مستقیماً قوای حسی زنبورهای نر را تحریک کرده و آنها را به سمت ملکه می‌کشاند. آنها اندوفالوس نر قبلی را از محل خود خارج نموده و اقدام به جفتگیری می‌نمایند.



تصویر ۷-۵ : در طول فصل جفت‌گیری پروازهای گروهی جهت‌یابی در محل ورودی کندو صورت می‌پذیرد و فعالیت جمع‌آوری گرده و شهد به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

این نکته قابل توجه است که نرهای موفق در جفت‌گیری از خود علامت جفت‌گیری را بر بدن ملکه باقی گذاشته که نشانگر موفقیت آنها در جفت‌گیری می‌باشد. آنها چه سودی از این حرکت و رقابت غیر تهاجمی می‌برند؟ پاسخ این سؤال در فصل ۹ آمده است. مشاهده گروهی از نرها که روی زمین یک ملکه را احاطه کرده‌اند، تصویر غیرمعمولی در فصل جفت‌گیری نیست. یک زوجی که در جفت‌گیری می‌باشند شامل ملکه‌ایی است که به طور غیرفعال یک زنبور نر را حمل می‌کند. بنابراین نمی‌توانند به خوبی پرواز کرده و روی زمین می‌نشینند . دیگر

نرها هم جذب شده و به امید جفت‌گیری به محل می‌آیند. دیگر گونه‌های مربوط به زنبورهای عسل مثل زنبورهای مخملی، زنبورهای واسپ و مورچه‌ها نیز روی زمین جفت‌گیری می‌کنند (تصویر ۶- ۵).

خیلی چیزها در مورد جفت‌گیری زنبورهای عسل ناشناخته مانده است. یک سؤال این است که چرا اکثریت کلنی که زنبورهای کارگر نام دارند، در تمام این فرآیند سخت بین ملکه و زنبورهای نر دخالت ندارند؟

زنبورهای کارگر به عنوان ندیمه‌های ملکه

پرواز زفاف برای ملکه و سایر کلنی که ملکه ضرورتاً تنها دارای گامت آنها می‌باشد، بی‌نهایت خطرناک است. زنبورها در پرواز توسط خیلی‌ها شکار می‌شوند. یکی از آنها زنبورهای واسپ (زنبور شکارچی) ماده هستند که زنبورهای تنها را صید کرده و به منظور تأمین غذای لاروهایش در زیر خاک دفن می‌کنند. خیلی از پرندگان نیز پس از یادگیری روش غلبه بر نیش زنبورهای عسل آنها را صید می‌کنند در چنین شرایطی آیا منطقی به نظر می‌رسد که ملکه جوانی که آینده کلنی به آن بستگی دارد، کاملاً تنها پا به دنیای خطرناک خارج از کندو بگذارد ؟

تصورش سخت است. تجربه نشان داده که کلنی زنبورها برای هر شکل قابل تصوری یک راه حل بهینه پیش‌رو دارند. اما ممکن است سؤال شود که اگر کلنی زنبورها حقیقتاً نتوانند راه حل مناسبی برای حوادثی که آینده کلنی به آن وابسته است بیابند چه اتفاقی خواهد افتاد؟ پدیده‌ای تحت عنوان "پرواز جهت‌یابی گروهی" که مدت‌های طولانی زنبورداران آنرا به عنوان گروه کوچکی از زنبورها که جلوی کندو خوشه تشکیل می‌دادند، می‌شناختند، بخش‌هایی از این سؤال ما را روشن نموده است. در طول زمان مشخصی از روز و فقط در زمانی که زنبورهای نر و ملکه جوان می‌خواهند کندو را ترک کنند، زنبورها جلوی ورودی کندو ابرهایی را تشکیل می‌دهند که مدام در حال پرواز و نشستن می‌باشد(تصویر ۷-۵). یک توضیح پیشنهاد شده در مورد این رفتار، پروازهای جهت‌یابی زنبورهای جوان است. اما بر اساس آزمایشات ساده و مشاهدات دقیق که در ذیل با جزئیات به آنها اشاره می‌شود، توضیح دیگری برای این پروازهای جهت‌یابی پیشنهاده شده که به نقش مهم آنها در فرایند جفت‌گیری زنبورهای عسل اشاره دارد.

برای مثال :

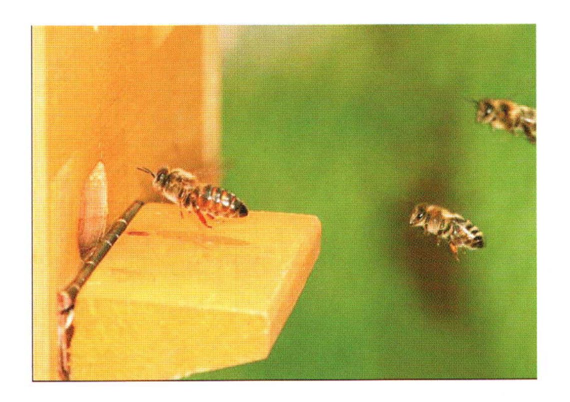
- اگر زنبورهای جوانی که از کندو خارج می‌شوند را علامت گذاری کرده و زمانی از روز را که آنها اولین پروازشان را انجام می‌دهند، ثبت کنیم به این نتیجه دست می‌یابیم

که آنها اولین پرواز جهت‌یابی خود را نه تنها در پرواز گروهی بلکه در تمام طول روز یعنی از طلوع تا غروب خورشید انجام می‌دهند. با این حال تعداد کمی از زنبورهای جوان علامت‌گذاری شده در زمان انجام" پرواز جهت یابی" گروهی شرکت می‌کنند.

- اگر تمامی اعضای شرکت کننده در پرواز جهت‌یابی را گرفته و تک تک آنها را بررسی کنیم، زنبورهای جوان ولی با تعداد اندک مشاهده می‌شوند و انتظار می‌رود که آنان در تمامی طول روز فعال باشند. اکثریت زنبورهای این گروه از زنبورهای پیر و کارگرهای با تجربه که از روی بال‌های با حاشیه پاره شده و موهای ریخته شده شناخته می‌شوند، تشکیل شده است. حضور اجباری این افراد در پرواز جهت‌یابی ضرورتی ندارد. در حقیقت برخی کارگرهایی که گرفته می‌شوند آنانی هستند که مستقیماً از محل منبع غذایی برمی‌گردند زیرا عسلدانی پر از شهد و سبد گرده‌ای مملو از گرده دارند.
- در کلنی‌هایی که فقط از زنبورهای پیر تشکیل شده است، گروه‌های عادی شرکت کننده در پرواز جهت‌یابی در زمان‌های معمولی از روز این کار را انجام می‌دهند.
- در کلنی‌هایی که بیش از چندین هفته ملکه نداشتند اگر زنبورهای جوان همانند زمانی که ملکه حضور داشته است به کلنی اضافه شوند، هیچ پرواز جهت‌یابی گروهی صورت نمی‌گیرد.
- اگر به یک کلنی بی‌ملکه که هیچ پرواز جهت‌یابی گروهی انجام نمی‌دهد، یک ملکه داده شود، در همان روز اولی که ملکه وارد شده پروازهای گروهی جهت‌یابی هم آغاز می‌شود.
- پروازهای گروهی جهت‌یابی فقط در زمانی از سال روی می‌دهد که نرها پرواز می‌کنند و ملکه‌های جوان نیز کلنی‌های خود را برای پرواز زفاف ترک می‌کنند. در اوقات قبل و بعد از این زمان، کلنی، زنبورهای کارگر بی شماری تولید می‌کند که هر کدام پرواز جهت‌یابی طبیعی‌شان را انجام میدهند اما هیچ گاه در پرواز جهت‌یابی گروهی شرکت نمی‌کنند.
- فعالیت جمع‌آوری گرده و شهد کلنی به طور مستمر ادامه دارد اما با این حال در زمانیکه پرواز گروهی جهت‌یابی صورت می‌پذیرد، به طور کاملاً واضح این فعالیت‌ها کاهش می‌یابد.



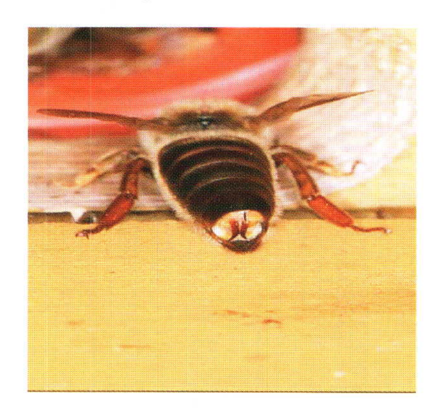
تصویر ۸-۵ : یک ملکه باکره، همراه با گروهی از کارگرها، کندو را به منظور پرواز زفاف ترک می‌کنند.



تصویر۹-۵: در هنگام بازگشت ملکه به کندو گروه زنبورهای کارگر نیز وی را همراهی می‌کنند.



تصویر۱۰-۵ : یک ملکه تازه بارور در حال ورود به کندو می‌باشد. محتملاً تا سال دیگر که زمان بچه‌دهی است کندو را ترک نمی‌کند.



تصویر ۱۱-۵ : گاهی ملکه با اندوفالوس آخرین زنبور نری که جفت‌گیری کرده به عنوان علامت جفت‌گیری به کندو باز می‌گردد.



تصویر ۱۲-۵: علامت جفت‌گیری می‌بایست قبل یا در حین ورود به کندو از روی بدن ملکه برداشته شود.

با توجه به نکات ذکر شده این تئوری که پرواز گروهی زنبورها تنها برای جهت‌یابی زنبورهای جوان صورت می‌گیرد، به طور کاملاً واضح رد می‌شود. اما دلیل این پرواز جهت‌یابی گروهی زمانیکه فقط در حضور ملکه صورت می‌گیرد، چیست ؟

با کمی صبر و حوصله می‌توان شاهد خروج ملکه از کندو به منظور پرواز زفافش بوده و مشاهده نمود که چگونه در حالی‌که در جلو ورودی کندو قدم می‌زند با گروه ۲۰ نفری از زنبورهای کارگر همراه شده و سپس با یک گروه کامل به پرواز درمی‌آید(تصویر ۸-۵).



تصویر ۱۳-۵: یک کارگر در حال خارج کردن علامت جفت‌گیری از دستگاه تناسلی ملکه می‌باشد.

همزمان با پرواز ملکه و هیئت همراهش ، گروهی که در پرواز بچه‌دهی شرکت می‌کنند، ناپدید شده و دوباره در زمانیکه ملکه به کندو باز می‌گردد، پدیدار می‌شوند(تصویر ۹-۵). اگر ملکه از کندو خارج نشود، گروه شرکت کننده در پرواز جهت‌یابی ظرف حدود نیم ساعت متفرق شده و ادامه روز را به فعالیت عادی خود می‌پردازند.

پس از بازگشت ملکه بلافاصله امنیت کندو توسط گروه زنبورهای کارگری که همراه وی بودند، تأمین می‌شود. خیلی از زنبورهایی که در گروه تازه تشکیل پرواز جهت‌یابی شرکت داشتند، نیز وارد کندو می‌شوند(تصویر ۱۰-۵) و گروه به سرعت متفرق می‌شود.

ملکه‌ایی که از پرواز موفق آمیزش برگشته اغلب اندوفالوس آخرین زنبور نر جفت‌گیری نموده که به دستگاه تناسلی اش متصل است را به همراه دارد (تصویر ۱۱-۵). این علامت جفت‌گیری توسط زنبورهای کارگری که همراهی‌اش می‌کنند قبل از بازگشت به کندو (تصویر ۱۲-۵) و یا بلافاصله پس از رسیدن به کلنی از بدن ملکه برداشته می‌شود(تصویر ۱۳-۵).



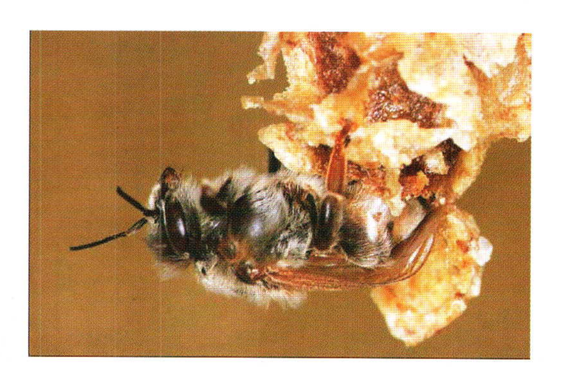
تصویر ۱۴-۵ : زنبورداران یک ایستگاه جفت‌گیری را نزدیک استقرار کلنی‌هایی که دارای زنبورهای فراوانی است برپا کرده و ملکه‌های جوان را همراه با چند صد زنبور کارگر در این کندوهای جفتگیری قرار می‌دهند.

اتفاقاتی که در محیط می‌افتد و یا نقشی که زنبوران کارگر همراه ملکه بازی می‌کنند هنوز ناشناخته است. با این حال براساس مشاهدات بی‌شمار زنبورداران، تصویر مبهمی را از این موضوع به نمایش می‌گذارد.

زنبورداری که از روش تلقیح مصنوعی برای باروری ملکه‌هایش استفاده نمی‌نماید، دو راه برای بارورسازی ملکه کندوهایش پیش رو دارد:

۱ . جفت‌گیری محلی، در زمانی‌که کلنی‌های کامل در یک محل وجود دارند، ملکه‌های جوان هر کلنی با زنبورهای نر کلنی‌های اطراف یا کلنی خودش جفت می‌خورد.

۲. انتقال ملکه جوان همراه با چند صد زنبورکارگر به کندوهای جفت‌گیری کوچک (تصویر ۱۴-۵) در جاهایی که کلنی‌هایی بزرگ با زنبورهای نر فراوان وجود دارند. جالب اینکه، در شرایط جفت‌گیری محلی از دست دادن ملکه به ندرت اتفاق می‌افتد و اکثر آنها پس از پرواز زفافشان بارور و سالم به کندو باز می‌گردند. از سوی دیگر، یکی از هر سه ملکه‌ای که همراه با یک کندوهای جفت‌گیری (که شامل چند زنبورکارگر است) به جای دیگری منتقل شده‌اند از بین می‌رود. در شرایط طبیعی، با توجه به تعداد بسیار کم ملکه‌هایی که در همه فصول توسط هر کلنی تولید می‌شوند ، از دست دادن ۳۰٪ آنها بالقوه خطرناک می‌باشد. چه چیز باعث بروز این تفاوت در بقای ملکه‌های می‌شود؟ آیا ممکن است قابلیت‌ها و تعداد زنبورانی که در پرواز همراه ملکه می‌باشند موثر باشد؟ در واقع پرواز ملکه توسط کارگرهای جمع‌آوری کننده شهد و گرده کنترل و هدایت می‌شود. ملکه‌ها هیچ دانشی از محیط خارج از کندو ندارند و یا ممکن است در پروازهای کمی که انجام داده، درک ناقصی از محیط بدست آورده باشند. کارگرهای با تجربه جغرافیای قلمروشان را در ذهن داشته و می‌توانند راهنمایی مناسبی بخصوص در زمان برگشت به کندو باشند. زیرا برای امنیت هر چه بیشتر ملکه، بازگشت سریع و مستقیم بسیار مهم می‌باشد.



تصویر ۱۵-۵: یک ملکه روز در حال تولد را می‌بینید. خروج از شاخون مانند سایر کارهای کندو در تاریکی مطلق صورت می‌گیرد.

ارزشمندترین چیزی که یک کلنی زنبورعسل تولید می‌کند، ملکه‌های جوان می‌باشد بنابراین می‌بایست حداکثر تلاش را برای امنیت آنها بکار گیرد.

پرنده های زنبورخوار که جذب پرواز ملکه در آسمان شده است، می تواند تهدیدی برای تولید مثل کلنی باشد. پرواز گروهی تنها برای جهت‌یابی نبوده بلکه در اطراف ملکه چتری حفاظتی را همانند آنچه که ماهی‌های کیلکا برای حفاظت از یکدیگر تشکیل می‌دهند، به معرض نمایش می‌گذارند. هر چه میزان جمعیت کارگرها در محیط جفت‌گیری بیشتر باشد به همان میزان حفاظت از طریق این اثر افزایش می‌یابد. در نتیجه تمام ملکه‌های کلنی‌های بزرگ از پرواز زفاف خود باز گشته اما این در حالی است که در کلنی‌های کوچک تنها ۲ تا از ۳ ملکه باز خواهد گشت.

با کمی بررسی بیشتر می‌توان به نقش فعالانه زنبورهای کارگر در پروسه جفت‌گیری پی برد. اگر یک ملکه جوان را روی برگی در فضای خارج قرار دهید به شرط اینکه بلافاصله پرواز نکند. در صورتی که با نزدیک‌ترین کندو چند صد متر فاصله داشته باشد، ظرف چند دقیقه توسط گروه کوچکی از کارگرها احاطه می‌شود. نرهایی که جذب ملکه شده‌اند نیز کمی بعد از کارگرها می‌رسند ولی با خشونت رانده شده وتحت تعقیب قرار گرفته تا از محل دور شوند. از دید یک بیننده به نظر می‌رسد که نرها، ملکه‌ها را از محل تجمع فراری می‌دهند، در حالیکه اگر تمامی مراحل ثبت گردد می‌توان رفتار زنبورها را به دقت مشاهده نمود.



تصویر ۱۶-۵: نزاع مرگبار دو ملکه‌ایی که در آن بدون هیچ رحمی از نیش‌های سمی استفاده می‌شود.

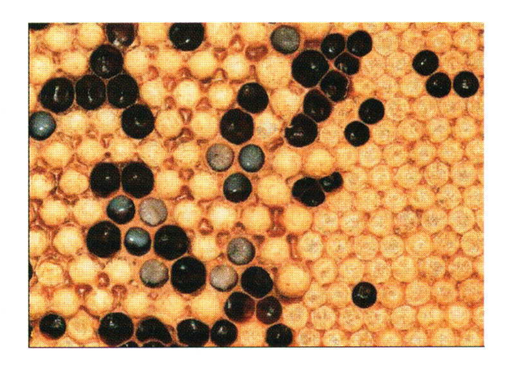
هدف زنبورهای کارگر واضح نمی‌باشد و هنوز ثابت نشده که این رفتار یک استثناء است یا یک قانون. با این حال، این نکته مشخص است که کارگرهایی که از لحاظ وراثتی وابسته به ملکه هستند، اجازه دسترسی بعضی نرها را به ملکه نمی‌دهند. احتمال اینکه کارگرها زنبور نری

که با ملکه‌شان جفت‌گیری خواهد کرد را انتخاب کنند، سؤالاتی را مطرح می‌کند که پاسخشان به تحقیقات آینده وابسته است. آیا این عمل روش دیگری برای حفاظت کلنی در برابر تلاقی خویشاوندی است؟ بعد از پرواز جفتگیری، ملکه آشیانه را تا سال آینده ترک نمی‌کند. زمانی‌که کلنی ملکه جدید خود را پرورش دهد، او به همراه گروهی از کارگرها برای پیدا کردن خانه‌ای جدید کلنی قدیمی را ترک می‌کند. سلول‌های اسپرمی که ملکه از اولین جفت‌گیری جمع آوری نموده، برای سال‌ها زنده می‌مانند. زمانی‌که ذخایر اسپرم ملکه تمام می شود او تخمهای ناباروری می‌گذارد که منجر به پرورش زنبورهای نر می‌شود و در نهایت نقش خود را در فنا ناپذیری کلنی از دست می‌دهد.

تمام گامت‌های حیوان

بگذارید به این موضوع که افراد با جنسیت‌های متفاوت در کلنی پرورش می‌یابند، بپردازیم: اولین علامتی که نشانگر پرورش زنبورهای نر و ملکه در یک کلنی می‌باشد (به عبارت دیگر نرها و ملکه‌ها در کلنی زنبورعسل به عنوان یک سوپرارگانیسم، تمامی گامت‌های او محسوب می‌شوند)، تغییرات ساختاری در معماری شان‌های مومی است. ملکه‌ها معمولاً در شاخون‌های ملکه پرورش می‌یابند که عمدتاً دارای تعداد کم و در حاشیه شان‌ها است. لاروهایی که در شاخون (سلول ملکه) پرورش می‌یابند، در ابتدا با ابعاد لاروهایی که به کارگر تبدیل می‌شوند، تفاوتی نخواهند داشت. جیره غذایی منحصر به فردی (ژله شاهانه) که به لاروهای مقیم شاخون مکله داده می‌شود، منجر به تکامل آنها به ملکه می‌گردد. به ملکه مسن به طورتصادفی ژله شاهانه کمتری داده می‌شود تا جائیکه می‌بایست با عسل زندگی نماید، در این شرایط ملکه سبکتر شده و آمادگی مجدد خود را برای پرواز بدست می آورد تا بتواند با اولین بچه از کندو خارج شود. حدود یک هفته بعد از اینکه ملکه پیر با تقریباً نیمی از کلنی در اولین بچه‌دهی جدا شد، اولین ملکه‌های جوان از شاخون‌هایشان خارج می‌شوند (تصویر ۱۵-۵). ملکه‌های جوانی که در کندو با یکدیگر روبرو می‌شوند، آنقدر می‌جنگند تا یکی از آنها از بین برود (تصویر ۱۶-۵). پرورش ملکه‌های جوانی که بعداً همدیگر را می‌کشند اصلاً به صرفه نمی‌باشد، بنابراین در طبیعت برای جلوگیری از این رقابت مرگ بار، اولین ملکه جوانی که از شاخون خود بیرون می‌آید همانند ملکه پیر کندو را با بخش دیگری از جمعیت کندو ترک می‌کند که به آن اصطلاحاً پس بچه گفته می‌شود. گاهی اوقات ملکه جوان دومی بلافاصله پس از اولی خارج شده و به بچه‌دهی ثانویه می‌پیوندد. نتیجه مایه تأسف این است که نزاع کشنده اجتناب ناپذیر، به سادگی به مکان دیگری منتقل می‌شود. جنگ کشنده بین ملکه‌های ارزشمند جوان گاهی اوقات با یک مکانیسم رفتاری قابل توجه جلوگیری می‌شود. اولین ملکه‌ای که از

شاخون خود خارج می‌شود یک زبان محاوره ارتعاشی با ملکه‌هایی که در شاخون‌های در بسته هستند، ارتباط برقرار می‌سازد. سیگنالی که در این محاوره استفاده می‌شود، آنقدر بلند است که از مسافتی دور از کندو هم قابل شنیدن است. ملکه‌ایی که اول متولد شده بعد ازخروج از شاخون بطور متوالی سیگنال‌هایی تولید می‌کند. کارگرهایی که در حال کمک نمودن برای خروج ملکه بعدی هستند پس از دریافت این سیگنال بی حرکت و ساکن می‌شوند. گهگاه این سیگنال‌ها با صدایی شبیه صدای اردک که از ملکه‌ایی که داخل شاخونش است، پاسخ داده می‌شود. این زبان محاوری باعث تأخیر در خروج ملکه دوم می‌شود و در نهایت از ستیزی که ممکن بود با خروج زودتر روی دهد، جلوگیری می‌شود.



تصویر ۱۷-۵ : سلول‌هایی که با درپوش مسطح پوشیده شده به عنوان سلول کارگرها شناخته می‌شود (قسمت راست) و آنهایی که درپوش برجسته دارند، سلول نرها می‌باشند (در سمت چپ). سلول‌های کوچک زنبورهای کارگر و سلول‌های بزرگ زنبورهای نر، رفتار تخم گذاری ملکه را تعیین می‌کنند. او تخم‌های بارور را در سلول‌های کوچک و تخم‌های غیر بارور را درون سلول‌های بزرگ می‌گذارد.



تصویر ۱۸-۵: کارگرهایی که در اطراف ملکه هستند، بدنش را لیسیده و فرمون را بلع می‌کنند. از طریق تروفالاکسیس یا مبادله غذا بین زنبورها، رایحه ملکه در سرتاسر کندو پخش می‌شود.



تصویر ۱۹-۵: ملکه‌ایی ناقص با پنج پا، شرایط استانداردی که کلنی در نظر داشته را تأمین نمی‌کند و بنابراین کارگرها "دگرگونی آرام" را آغاز می‌نمایند: آنها یک ملکه جدید پرورش می‌دهند.



تصویر ۲۰-۵: زمانی‌که یک ملکه بطور ناگهانی می‌میرد، بطور اضطراری با حداکثر سرعتی که ممکن باشد شاخون ملکه جدید از موم‌های قدیمی ساخته شده و ملکه جایگزین در آن پرورش می‌یابد.

ظهور زنبورهای نر نیز با تغییرات ساختمانی در شان‌های مومی مشخص می‌شود. زمانیکه هیچ دلیلی برای پرورش زنبورهای نر وجود ندارد و در خارج از زمان جفت‌گیری می‌باشیم، بهترین ماه‌ها برای غنی سازی کلنی بوده و زنبورهای کارگر سلولهایی با قطر ۵/۲ تا ۵/۴ میلی‌متر تولید می‌کنند. در صورتی که زنبورهای نر نیاز باشند چندین هزار سلول اضافی به حاشیه شان‌ها اضافه شده که هر کدام ۶/۲ تا ۶/۴ میلی متر قطر دارند. این

سلول های جدید حدود ۱۰ ٪ کل سلول‌های کلنی را تشکیل می‌دهند (تصویر ۱۷-۵). ملکه از پاهای جلویی خود برای اندازه‌گیری سایز سلول‌ها استفاده می‌نماید. اگر ملکه به سلولی با قطر کم برسد تخم بارور می‌گذارد که در نهایت منجر به پرورش یک زنبور ماده می‌شود و اگر به سلول‌های با قطر بزرگ برسد، تخم غیر بارور گذاشته که نهایتاً منجر به پرورش یک زنبور نر می‌شود. مکانیسمی که در دستگاه تناسلی زنبور ملکه اجازه دسترسی اسپرم‌های محدودی را به تخمک می‌دهد و یا از آن جلوگیری می‌کند، می‌بایست بطور اطمینان بخشی قابل کنترل باشد. با این حال، این ملکه نیست که جنسیت نوزادان را تعیین می‌کند و کارگرهای درون کلنی این وظیفه را بر عهده دارند. با این اوصاف ملکه به صورت ابزاری در دست آن‌ها می‌باشد.

برقرار استاندارد سطح بالا – حذف ملکه‌های مازاد

کلنی تصمیم می‌گیرد که در زمانی که سودمند است، ملکه را تعویض نماید. به عنوان یک قانون، این ملکه پیر است که جایگزین می‌شود. این واقعیت از آن لحاظ منطقی است که ذخایر اسپرمی که ملکه در پرواز جفتگیریش جمع آوری نموده، دیر یا زود مصرف می‌شود. ملکه با ترشح فرمونهای غدد آرواره ای خود باعث می شود تا زنبورهای پرستار (گروهی که اطراف ملکه هستند) به طور مستمر بدن ملکه را لیس زده و رایحه ملکه را از سطح بدنش دریافت - کنند(تصویر ۱۸-۵). این زنبورها سپس فرمون ملکه را از طریق مبادله مستمر غذا که بین کارگرها رخ می‌دهد، در سرتاسر کندو پخش می‌کنند. این فرمون‌ها حاوی اطلاعاتی از حضور و وضعیت ملکه می‌باشد.

همزمان با پیر شدن ملکه زمانی که غلظت فرمون ملکه به پایین‌تر از سطح ویژه‌ای برسد، کلنی شروع به تولید جایگزینی او می‌کند. آغاز فرآیند جایگزین سازی ملکه نیازمند روی دادن شرایطی بحرانی نیست. حتی یک نقص کوچک از نظر انسان، می‌تواند منجر به جایگزینی ملکه شود . پاهای جلویی ملکه در تعیین اندازه سلول‌ها نقش داشته بنابراین اگر نقص در پاها مربوط به سایر پاها باشد (تصویر ۱۹-۵) او ناقص محسوب نشده و علیرغم این مشکل می‌تواند تولیدنسل جدید را تضمین نماید. استاندارد یک ملکه کامل بسیار بالا است و کوچکترین انحرافی از شرایط عادی منجر به پرورش یک ملکه جدید می‌گردد. همچنین "دگرگونی آرام"، حتی پس از پرواز جفتگیری موفقیت‌آمیز ملکه جدید گاهی منجر به تداوم تخم‌گذاری ملکه پیر بدون توجه به شرایط مهمی که پیش آمده می‌شود.

محل شاخون‌های ملکه‌های جایگزین برخلاف شرایط عادی پرورش ملکه، که شاخون آن‌ها از لبه شان‌ها آویزان است (در زمان بچه‌دهی)، در مرکز شان و از طریق گسترش دیوارهای سلول‌های عادی ساخته می‌شود (تصویر ۲۰-۵).

فرایند جایگزینی گاهی در شرایط اضطراری انجام می‌پذیرد مثل زمانی‌که ملکه بطور اتفاقی می‌میرد. در این شرایط می‌بایست کلنی، لاروهایی که در شرایط بحرانی هستند، داشته باشد وگرنه جایگزینی ملکه رخ نمی‌دهد. تمام لاروهایی که بین ۱/۵ تا ۳ روز سن دارند، با جایگزینی تغذیه‌شان با ژله شاهانه، پتانسیل ملکه شدن را دارا می‌باشند. کارگران سلول‌های آن‌ها را با عجله بزرگ نموده و تبدیل به سلول ملکه می‌نمایند. در چنین شرایط عجله ای معمولاً زمانی برای فعال شدن غدد موم ساز شکمی زنبورهای کارگر وجود ندارد بنا براین از موم‌های قدیمی استفاده می‌کنند و آنها را در کنار هم قرار داده و با تغییر کاربری، شاخون ملکه جایگزین را می سازند. اگر ملکه زمانی‌که نوزاد مناسبی در کلنی وجود ندارد، بمیرد، این به معنای پایان حیات کلنی می‌باشد. در کل زنبورهای عسل اجازه بوجود آمدن چنین شرایطی را نمی‌دهند.

ظهور ملکه‌های جایگزین جوان و شرکت آنها در پرواز زفاف و به همراه آوردن مواد ژنتیکی جدید جریان متمادی ذخایر ژنتیکی جدید را برای کندو تضمین نموده که این ذخائر ژنتیکی تعیین کننده صفات یک کلنی می‌باشد.

۶ ژله شاهانه و اهمیت آن در تغذیه

لارو زنبورهای عسل غذای خـود را از یـک جفـت غـده ترشـحی موجود در زنبوران کارگر بدست می‌آورند. نقش این ماده غـذایی را معادل با شیر مادر در پستانداران می‌دانند.

زنبورهای عسل حشراتی هستند که یک تغییراتی کلی را در طول تکامل‌شان متحمل شده‌اند.در بهترین توصیف مراحل مختلف رشد به مراحل: تخم، دوره‌های مختلف لاروی، شـفیرگی و در نهایت زنبور بالغ تقسیم می‌شود. در این سیر تکاملی زنبورها از یکی از راه‌هـای اسـتانداردی که در دگردیسی حشرات وجود دارد تبعیت می کنند. لارو حشرات مـی‌توانـد هـم بـه واسـطه بافت‌های گیاهی یا جانوری که خودشان جمع آوری کرده‌اند تغذیه شوند و هـم مـی‌تواننـد بـه واسطه بالغین تغذیه شوند. زنبورهای عسل لاروهای خودشان را توسط مواد ترشحی که از غدد خاصی از ناحیه سر زنبوران پرستار تولید می‌شود و در واقع همانند یک نوع شیر مادر جایگزین است، تغذیه می‌کنند.این نوع تغذیه سفارشی فرصتی را جهت دستکاری نمودن طبیعی در تولید زنبوران بالغ فراهم می سازد. تولید ملکه جدید یکی از برجسته‌ترین کاربردهـایی اسـت کـه در این عمل صورت می‌گیرد.

در فصل تابستان ملکه در هر سلول یک تخم و یا بـه عبـارت دیگـر روزانـه بـین ۱۰۰۰ تـا ۲۰۰۰ تخم می‌گذارد. تخم‌هایی که ملکه در هر روز می‌گذارد، معادل وزن خود او می‌باشـد کـه معادل ۲ -۱ تخم در هر دقیقه است (تصاویر۱ .۶ و۲ .۶). در انسان می‌توان این امر را به معنـی به دنیا آوردن ۲۰ نوزاد در هر روز برای یک تابستان کامل، تعبیر کرد.

سلول‌ها به واسطه زنبور قبل از تخم‌گذاری سلول‌ها توسط زنبورهای جوان، کـاملا تمیـز می‌شوند (تصویر۳ .۶).

لارو زنبور عسل

یک لارو کوچک پس از یک دوره رشد ۳ روزه جنینی در داخل تخم، پوسـته تخـم خـودرا ترک می‌کند(تصاویر۴ .۶ و ۵ .۶).



تصویر۱-۶: یک ملکه بارور کمی قبل از تخمگذاری که در آن زنبوران کارگر در تنظیم نمودن جهت نوک شکم به ملکه کمک می کنند تا بتواند تخم خود را در مناسبترین سلول انتخاب شده بگذارد.

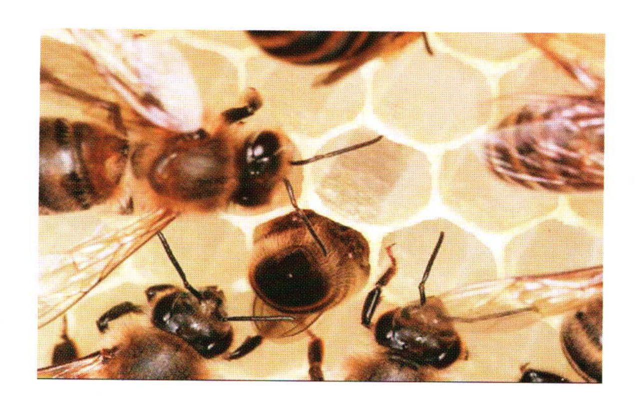
الگوهای رشد در زنبورهای کارگر، نر و ملکه متفاوت بوده و از یکدیگر قابل تشخیص هستند. دوران لاروی در تمام اینها شامل ۵ مرحله بوده (تصاویر۶ . ۶ و ۶.۸)، اما این مراحل از نظر مدت زمان، متفاوت هستند: طول مدت زمان لاروی در زنبورهای کارگر متوسط (تصویر ۹.۶)، در زنبورهای نر طولانی‌تر(تصویر۱۰ .۶) و در زنبورهای ملکه کوتاهترین (تصویر ۱۱ .۶) می‌باشد. افزایش وزن در لاروها شگفت‌آور است. وزن آن‌ها در مدت ۵ روز هزار برابر می‌شود. برای درک این مفهوم می‌توان آن را با انسان مقایسه کرد، بدین معنی که یک نوزاد با ۵ روز سن می‌تواند درحدود ۵/ ۳ تن وزن بدست آورد!



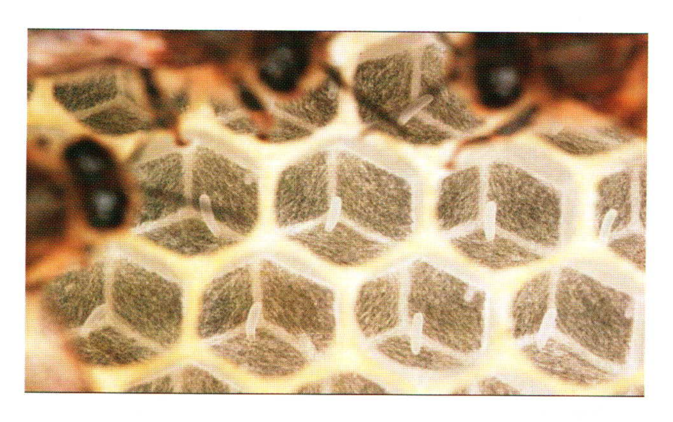
تصویر۲-۶: یک زنبور ملکه جهت تخمگذاری شکم خود را پائین آورده و در ته یک سلول قرار داده است.

شاید سرعت رشد در ملکه، یک نوع مسابقه زمانی بین ملکه‌های جوان باشد. اولین زنبور ملکه‌ای که از تخم خارج می‌شود، فرصت می‌یابد تا دیگر رقبایش را در سلول‌هایشان نیش بزند.

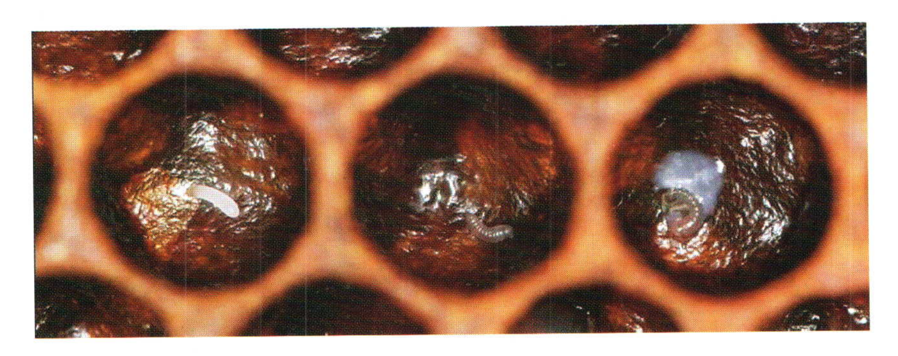
در هر سه نوع زنبور، لارو در مرحله آخر لاروی‌اش به قدری بزرگ است که تمام سلول را پر می‌کند. در این مرحله لارو توسط ترشح رشته‌های نخی شکل حاصل از یک غده خاص، در داخل سلول به دورخودش پیله‌ای می‌تند و در نهایت زنبورهای کارگر توسط یک درپوش مومی درب سلول را مسدود می‌نمایند(تصویر۱۲ .۶). در زیر این درپوش، دگردیسی به واسطه تبدیل مرحله شفیرگی به یک زنبور بالغ در حال روی دادن است. درپوش سلول دارای منافذی است که به واسطه آنها تبادلات تنفسی (دم و باز دم) امکان‌پذیر بوده و همچنین سیگنال‌های شیمیایی در هر دو سمت قادر به عبور هستند.



تصویر ۳-۶: یک زنبور کارگر که در حال تمیز و خالی نمودن سلول نوزادی است و آن را برای تخم‌گذاری ملکه آماده می‌کند.



تصویر ۴-۶: تخم در داخل سلول نوزاد. تخم در ابتدا به صورت عمودی درسلول قرار می‌گیرد، سپس کم کم به طرف کف سلول و نهایتاً در ته سلول می‌خوابد.



تصویر ۵-۶: جنین زنبورعسل در یک دوره ۳ روزه در درون تخم رشد می‌نماید(چپ). یک لارو کوچک خارج شده از تخم(وسط). سریعاً جهت تغذیه او ژله شاهانه آماده و در کف سلول قرار داده شده است(راست).

لاروها در زمان خروج از تخم‌هایشان در یک موقعیت ایده‌آل قرار می‌گیرند، زیرا زنبورهای پرستار برای آنها غذایی نسبتاً غلیظ از ژله شاهانه را در سلول‌هایشان فراهم می‌نمایند. این ماده مخلوطی از ترشحات غدد هیپوفارینژیال(شیری) و ماندیبولار (آرواره‌ای) موجود در سر زنبورعسل می‌باشد. قطرات کوچکی از ژله شاهانه از منافذی در بخش‌های داخلی آرواره به درون سلول‌های حاوی نوزاد ریخته می‌شوند(تصویر ۶.۱۳). زنبورهای پرستار معمولاً زنبورهای جوانی هستند که بین ۵ تا ۱۵ روز سن داشته و جهت تولید ترشحات ژله شاهانه مقدار قابل توجهی گرده و مواد خام ضروری مصرف می‌کنند.این غدد در زنبورهای کارگر تحلیل رفته و ژل شاهانه تولید نمی‌کنند. این مثالی است از یکی از انواع مختلف انعطاف‌پذیری موجود در میان اعضاء کلنی زنبورعسل به عنوان یک موجود سوپرارگانیسم.

لارو جوان منحصراً در ابتدای دوران لاروی با ژل شاهانه‌ای که به واسطه زنبورهای پرستار تولید می‌شود، تغذیه می‌شود.تغذیه آن‌ها در تمام طول زندگی‌شان براساس یک جیره غذایی طراحی شده می‌باشد. یک شکل مشابه از تغذیه لاروهای خیلی جوان در پستانداران یافت شده است. زنبورها توسط شیر مادر تغذیه نمی‌شوند، بلکه با یک محصول جایگزین تولیدی توسط خواهرهای خود تغذیه می‌شوند(تصویر۶.۱۳). هر لارو زنبورعسل در دوران لاوری خود در حدود ۲۵ میلی‌گرم و یا ۲۵ میکرولیتر ژله شاهانه مصرف می‌کند. با در نظر گرفتن تولید سالانه ۲۰۰ هزار زنبور، مجموعاً ۵ لیتر ژله شاهانه در سال در هر کلنی تولید می‌شود.



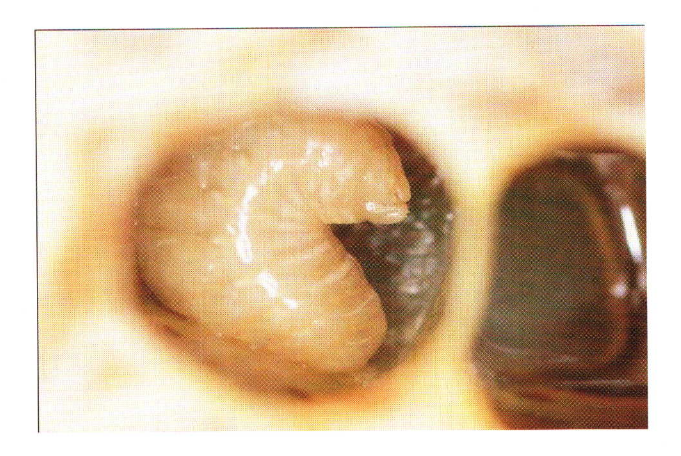
تصویر ۶-۶: لاروهای جوان با مواد ژله مانندی تغذیه می‌شوند که ژله شاهانه نام دارد. این ماده به وسیله غددی در ناحیه سر زنبورهای پرستار تولید می‌شوند.

ایجاد یک ملکه

رژیم غذایی یک لارو مسن(کارگر یا نر)، همواره مخلوطی از ژله شاهانه با مقدار بیشتری گرده و عسل بوده و در مرحله آخر لاروی هیچ گونه ژله شاهانه‌ای را دریافت نمی‌کند. لاروی (که از لحاظ جنسی ماده باشد) در صورتی که در تمام طول دوره رشدی خود ژله شاهانه دریافت نماید به ملکه تبدیل خواهد شد(تصویر۱۴. ۶).



تصویر ۷-۶: لاروهای بزرگ با مقدار بیشتری از گرده و عسل تغذیه می‌شوند.



تصویر۸-۶: در دهمین روز از زندگی، لارو در سرتاسر طول سلول به صورت ایستاده قرار گرفته و شروع به تنیدن پیله در اطراف خودش می‌نماید. زنبورهای کارگر در سلول را بایک درپوش مومی می‌بندند.



تصویر۹-۶: یک زنبور جوان در حال ترک سلول نوزادی خود

البته این تنها عاملی نیست که تعیین می‌نماید که یک لارو به زنبور کارگر یا یک ملکه تبدیل شود.بلکه ترکیبات ژله شاهانه دارای تفاوت‌هایی است، بدین ترتیب که یک ترکیب قندی با ۳۵ درصد هگزوز منجر به تبدیل لارو به یک ملکه شده، اما کارگرها با موادی محتوی حدود ۱۰ درصد رشد خواهند کرد. بنابراین شروع برنامه رشد و نمو لاروهای زنبورها، می‌تواند به واسطه تغییر در میزان شیرینی ژله شاهانه تحت تأثیر قرار گیرد.



تصویر۱۰-۶: یک زنبور نر در حال خروج از سلول نوزادی. درپوش سلول به واسطه زنبور در حال خروج، باز شده و زنبوران کارگر نیز از خارج با جویدن درپوش به او کمک می‌کنند.



تصویر۱۱-۶: یک نوزاد ملکه در حال ترک سلول نوزادی خاص خود (شاخون) که در آن رشد کرده است.



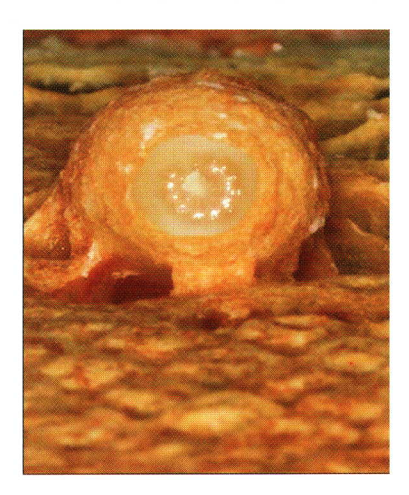
تصویر۱۲-۶: زنبورهای کارگر در شروع مرحله شفیرگی در سلول را با یک درپوش مومی می‌بندند. دگردیسی زنبور در این مکان کاملاً مسدود انجام می‌پذیرد.

بنابراین ژله شاهانه یکـی از «فاکتورهـای محیطـی» اسـت کـه تبـدیل لارو را بـه ملکـه یـا زنبورهای کارگر تعیین می‌کند. کارگرهای غیر بارور و ملکه‌های بارور در یک کلنی زنبور به دو گروه و یا کاست تقسیم می‌شوند و مسیر زندگی آنان توسط جیره غذایی آنان تنظیم مـی‌گـردد. همچنین لارو ملکه ۱۰ بار بیشتر از لارو کارگر، توسط زنبورهای پرستار بازرسی می‌شـود. لارو ملکه مقدار و دفعات بیشتری با ژله شاهانه تغذیه می‌شـود. تفـاوت در مقـدار و کیفیـت رژیـم غذایی، شروع کننده یکسری از واکنش‌های بیوشیمیایی متوالی خواهـد بـود و مقـدار و مـدت زمان حضور هورمون‌های ترکیبی در لاروها، نقشی اساسی را در ایجاد تمایزات ظاهری بین دو کاست زنبورها بازی می‌کند.

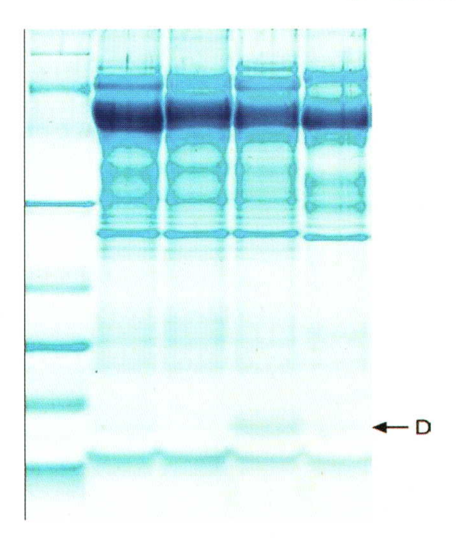
ژله شاهانه به عنوان یک رژیم غذایی طراح در کندوی زنبورعسل و شروع کننـده الگوهـای مختلف رشدی در کاست‌های زنبورها، تحت کنترل خود زنبورها قرار داشته و مثالی از منحصر به فرد بودن کلنی زنبورها می‌باشد. شرایط رشد در زنبور های عسل به خود آن‌ها بسـتگی دارد. ژله شاهانه خود علامتی از سلامت کلنی زنبورها است. همانند شیر مـادر در پسـتانداران، ژلـه شاهانه در زنبورها، یک ایمنی را برابر آلودگی‌های باکتریـایی در مراحـل اولیـه زنـدگی لاروهـا ایجاد می‌کنـد. یکـی از روش‌هـای رایـج در آلـودگی‌هـای لاروهـا، هجـوم پاتوژنهـا از طریـق لوله گوارشی آن‌ها می‌باشد اما ژله شاهانه بدلیل داشتن نوعی ترکیب دفاعی با ساختار پروتئینـی با این آلودگی‌ها مقابله می‌نماید.



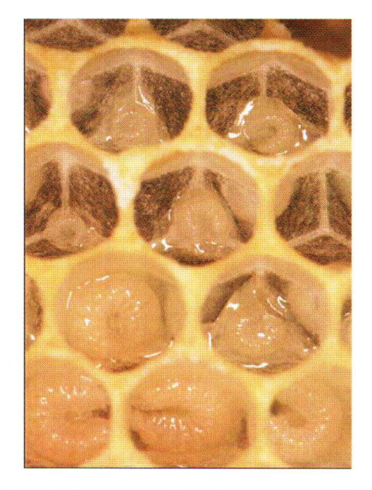
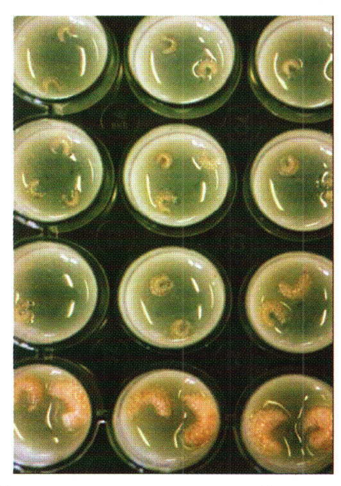
تصویر ۱۳-۶: زنبورهای پرستار برای خواهرهای خود در غدد موجود در سرشان ژله شاهانه تولید می‌کنند. ژله شاهانه از حاشیه داخلی آرواره بالا (که با علامت پیکان نشان داده شده است) ترشح شـده و در نـوک آرواره بـالا جمـع شـده (تصـویر کوچک ضمیمه) و در داخل سلول‌های دارای لارو قرار داده می‌شود.



شکل ۱۴-۶: در مقایسه با کارگرها و نرها، لاروهای ملکه منحصراً با ژله شاهانه تغذیه شده، حتی زمانی که بزرگ هستند. درصورت باز نمودن سلول‌های ملکه که انتهای آن به سمت پائین می‌باشد (این تصویر از زیر گرفته شده است)، به علت حضور ژله شاهانه چسبناک، لارو بیرون نمی‌افتد.



تصویر ۱۵-۶: جداسازی ترکیبات ژله شاهانه با الکتروفورز، ساختار طبیعی این ماده را نشان می‌دهد. خطوط افقی منفرد برروی ژل نشانه پروتئین‌های مختلف است. باند علامت‌گذاری شده D، پروتئینی است که از لاروها در برابر آلودگی‌ها دفاع می‌کند. دراین تصویر، نمونه آزمایشی ریخته شده در ستون سمت چپ ژل، مخلوطی است ازمواد شناخته شده که به عنوان یک شاخص بکار برده می‌شوند.چهار ستون دیگرنمونه‌هایی از ژله شاهانه از نژادهای مختلف زنبورها است. پروتئین دفاعی گفته شده در متن و علامت‌گذاری شده در تمام نژادهای زنبورها وجود دارد.

تصویر ۱۶-۶: زنبورهای عسلی را که از لاروهای کوچک خارج شده‌اند، می‌توان به صورت مصنوعی (در سلول‌های مصنوعی) از مرحله شفیرگی تا خروج کامل زنبورهای بالغ(چپ) پرورش داد. پرورش مصنوعی زنبوران در سلول‌های طبیعی نوزادان (راست).

مکان تولید و پرورش زنبور عسل

مقادیر دقیق برخی از عناصر یافت شده در تجزیه شیمیایی ژله شاهانه که در رابطه با رشد و نمو و سلامت زنبور اهمیت دارند(تصویر ۱۵. ۶) هنوز مشخص نیست.

زنبورهای عسل را می‌توان به صورت مصنوعی، از زمانی که لارو از تخم خارج می‌شود (تصویر۱۶ .۶)، در تمام طول دوران لاروی تا زمان بلوغ، در آزمایشگاه پرورش داد. نقش عناصر مختلف ژله شاهانه در رشد، تعیین کاست‌های مختلف و سلامت زنبورها را می‌توان در این شرایط آزمایشگاهی، با دستکاری‌های آزمایشی تحت مطالعه قرار داد.

۷ موم و رشد جمعیت کلنی

شان مومی بخشی ازاجزای یک سوپرارگانیزم است که تمام ترکیب آن به صورت کامل در فیزیولوژی اجتماعی کلنی شرکت می کند.

محل زندگی زنبور عسل، نقش کلیدی را در آشکار نمودن کلنی سوپرارگانیزم زنبور عسل ایفاء می‌کند. اهمیت آن در رابطه با عملکرد زنبور عسل، بسیار عمیق‌تر از عملکردی است که به طور کلی در مورد مفهوم کندوها به ذهن می‌رسد، یعنی پناه‌گاهی که از مواد حاصل از محیط ساخته شده است. شان لانه زنبور، از یک جهت، بخشی از خود زنبورهاست . حتی تجلی این موضوع که شان، (تصویر ثابتی از شیوه رفتاری زنبور است) ، نمی‌تواند توصیف کاملی باشد . رد پاهای مرغ نوروزی در ماسه‌های نرم ساحل دریا هم، تصویر محکمی از شیوه رفتار اوست. با این حال، این نوع رد پاها، هیچ پیامدی از زندگی آتی این پرنده ندارد، مگر آنکه تنها شکارچیان را به خود جلب کند. از سوی دیگر، شان عسل به عنوان (آثاری از زنبورها) ماهیت و زندگی زنبورها را توصیف می‌کند. تلفیق حفره‌های موجود، در حداقل آب و هوای معتدل و شان‌های مومی، باعث شده که کندو نه تنها محیط زندگی، انبار غذا و محل پرستاری از نوزادان باشد، بلکه بخش جدایی ناپذیری از سوپرارگانیزم همانند: اسکلت، عضوحسی، سیستم عصبی، حافظه و سیستم ایمنی باشد. شان مومی به طور کلی توسط زنبورها ساخته شده و بخش جدایی ناپذیر زندگی آن‌هاست و با عملکرد سوپرارگانیزم متصل است.

شان عسل، عضوی از سوپرارگانیزم

ماده، انرژی و اطلاعات، سه رکن اصلی هستند که تمامی زندگی بر اساس آن‌ها ساخته می‌شود. فیزیولوژی موجودات با زندگی انفرادی، چگونگی سازماندهی نسبی و موقتی این عوامل اساسی و بنیادی را توضیح می‌دهد. فیزیولوژیست‌ها به طور مفصل، نیروها و مکانیسم‌هایی را بررسی می‌کنند که این سه رکن بسیار متفاوت زندگی را کنترل و تعدیل نمایند.

شان عسل، بخش جدایی ناپذیر کلنی زنبور است، چرا که بسیاری از ویژگی‌های ساختاری آن، نقش اساسی و مهمی را برای هدایت کردن انرژی، ماده و اطلاعات در کندو، ایفاء می‌کند. لانه، یک محیط عادی در مفهوم کلاسیک نیست که زنبورها در مسیر تکامل، با آن

ساز گار شده باشند، در عوض بعنوان یک محیط ساخته شده توسط خـود زنبـور هـا، درسـت مانند سایر اعضاء یا مشخصه‌های زنبورها، در معرض نیروهای تکامل اسـت. حتـی زنبورهـای جمع‌آوری کننده غذا که در پروازهای جمع‌آوری شهد و گرده، شان را ترک می‌کنند، بیش از ۹۰ ٪ از زندگی خود را در درون سلول‌های شان مومی و یـا بـر روی آن، سـپری مـی‌کننـد. مـدت طولانی زندگی سپری شده بر روی شان، احتمالات بی‌شماری را در زمینه تعامل بین زنبورها و شان‌هایشان فراهم می‌کند که همراه با هم، سوپرارگانیزم را تشکیل می‌دهند.

در سال ۱۸۵۰ کلاد برنارد، فیزیولوژیست بزرگ فرانسوی، نظریه مهم «محیط درونـی» را بیان کرد، محیطی در درون موجود زنده که به شکل قابـل تـوجهی، متفـاوت از محـیط خـارج موجود زنده است. جهان درونی به دقـت تنظـیم شـده، در حـالی کـه جهـان بیرونـی، «محـیط بیرونی»، توسط موجود زنده، قابل کنترل نیست. به وضـعیت تنظـیم شـده درونـی هموسـتازی Homeostatis گفته شود.

با این حال، به هنگام گسترش هموستازی در قالب یک محیط خود ساخته، مثلاً در مـورد زنبور عسل، وضعیت چگونه است؟ تفاوت بین محیط درونی و محیط بیرونی، به مدت طولانی در یک مفهوم درست، به کار نمی‌رود . در اینجا که مرز مشخصی بـین درونـی و بیرونـی قابـل تشخیص است، مدل برنارد، به وضوح قابل تشخیص نیست، چرا که لانه، بخش جـدایی‌ناپـذیر یک نهاد بزرگتر، که سوپرارگانیزم کلنی زنبور نام دارد، می‌باشد. در طول مدت تکامـل لانـه بـا تمامی ویژگی‌هـایش، همـراه بـا زنبـور بعنـوان جزیـی از سـوپرارگانیزم توسـعه یافتـه اسـت. ویژگی‌های لانه بخشـی از سـوپرارگانیزم اسـت و بـه انـدازه‌ی خـود زنبورهـا در فیزیولـوژی اجتماعی و تناسب بیولوژیکی کلنی زنبورها مثلاً در متابولیسم و بر قراری ارتباط نقش دارد. بـه محض این که روند تکامل باعث شکل‌گیـری سیسـتم عصـبی زنبـور هـا شـد، لانـه همـراه بـا شان‌هایش به عنوان بخشی از یک مجموعه کلی، شکل گرفت.

کارخانه موم

زنبورهای عسل، ماده‌ای را برای ساخت شان‌ها از بدن خـود تولیـد مـی‌کننـد کـه در میـان جانوران امتیاز محسوب می‌شود. موم از هشت غده که به صورت جفت در سطح شکمی چهار بند آخر شکم زنبور قرار دارند، ترشح می‌شود. این منطقه که در زیر آن غدد مـوم قـرار گرفتـه است را می‌توان به صورت سطوح صاف، موسوم به «آئینه‌های موم»، مشاهده کرد(تصویر ۱. ۷).

غده‌های تولید موم به تدریج رشد نموده و پس از چند روز به اندازه کامل می‌رسـند. آن‌هـا در زنبورهای کارگر، در حدود بین روز دوازدهم تا هجدهم زندگی زنبورهـا بـه اوج عملکـرد خود می رسند و سپس تحلیل می روند.



تصویر۱-۷: هشت ناحیه صاف که آئینه‌های موم نامیده می‌شوند را می‌توان بر روی سطح زیرین شکم زنبورهای کارگر یافت. موم از غدد شکمی روی آئینه‌های مومی گسترش یافته و به صورت پولک‌های کوچک، سخت می‌شود.



تصویر۲-۷: زمانی که زنبورهای کارگر برای ساخت شان به موم نیاز دارد، آنان غدد مومی در زیر آیینه‌های مومی را فعال ساخته و هشت پولک مومی در روز تولید می‌نماید.

با این حال، در صورت نیاز، غدد تولید موم در زنبورها ی مسن تر، فعال می‌شود، به طوری که اگر ترکیب جمعیت یک کلنی بطور مصنوعی دستکاری شود تا فقط حاوی زنبورهای مسن‌تر باشد، غدد تولید موم در نسبت قابل توجهی از زنبورها کارائی بالای خود را مجدداً بدست خواهند آورد. انعطاف‌پذیری در توانایی‌های مرتبط با سن در بسیاری از ابعاد زندگی زنبورها، گسترش یافته و فقط تولید موم و کاربرد مناسب آن را در بر نمی‌گیرد. میزان بالای انعطاف پذیری در کالبد شناسی، فیزیولوژی و رفتاری، از ویژگی مشخص بیولوژی زنبور است.

هنگامی که موم بر روی سطوح بدن زنبور ترشح می‌شود، به صورت ورقه‌ای کوچک و

نازکی، سخت می گردد(تصویر۲ .۷) .

از ویژگی عجیب زنبورهای عسل تولید کنترل شده مواد ساخت و ساز حاصل از بدن خودشان است که دارای پیامدهای و سیعی در کل بیولوژی آنهاست. زنبورها، خودشان می-توانند مشخصات اصلی و ضروری ماده خام را برای ساختار شان عسل تعیین کنند . این حالت شبیه به مهندسی ساخت و ساز است که ماهیت فیزیکی مصالح ساختمانی را در تطبیق پروژه در دست اجرا کنترل می کند.



تصویر۳-۷: پولک‌های مومی به واسطه یکسری خارهای زبر در پاهای عقبی نگهداری شده وبه قسمت دهان انتقال داده می‌شوند.

پولک‌های مومی که بلافاصله پس از تولید بر روی کف کندو نیفتاده‌اند، توسط زنبور و از طریق فرورفتگی پای عقبی متا تارسوس یا بند اول پنجه (تصویر۳ .۷)، جمع‌آوری و توسط پاهای میانی و جلویی به سوی دهان، فرستاده می‌شود(تصویر۴ .۷). پولک‌های مومی که با حرکات آرواره‌ها به شکل خمیر درمی‌آیند با ترشح غده‌های آرواره‌ای، ترکیب شده و به چنان هم یکنواختی و غلظتی می‌رسد که زنبورها می‌توانند با آن کار کنند. هر زنبور کارگر برای آماده‌سازی هر پولک مومی، حدوداً به ۴ دقیقه زمان نیاز دارد. با صد گرم موم، زنبورها می‌توانند حدود هشت هزار سلول را بسازند که حدود ۱۲۵ هزار پولک مومی برای این کار نیاز است(تصویر۵ .۷).

بعد از جابجایی بچه زنبور به مکانی جدید، تولید موم کلنی افزایش یافته که این عمل نیاز به میزان قابل توجهی انرژی دارد. بچه زنبوری که باید یک شان کامل را در لانه جدید بسازند باید به منظور تولید ۱۲۰۰ گرم موم مورد نیاز ،از حدود ۷/۵ کیلوگرم عسل، انرژی کسب نمایند. از این ۱۲۰۰ گرم موم، زنبورها به مرور زمان، در حدود ۱۰۰/۰۰۰ سلول خواهند ساخت که این تعداد سلول نشان دهنده یک لانه با اندازه متوسط است.



تصویر۴-۷: زنبورهای کارگر جهت آسان‌تر کردن کار با موم، در دهان خود آن را با آنزیمی ترکیب می کنند.

ساخت شان

بلافاصله بعد از تولید بچه کندو، تقسیم‌بندی عسل در حین سفر انجام شده و انـرژی کـافی برای شروع ساخت و ساز حدودا"۵۰۰۰ سلول فراهم می‌شـود. تـلاش و جسـتجو بـرای غـذا، بلافاصله آغاز می‌شود تا ساخت و سـاز بتوانـد ادامـه داشـته باشـد. زنبورهـا درون محوطـه‌ای توخالی از سقف آن شروع به ساخت شان مومی می‌کنند. آنـان از قطعـات دهـانی خـود بـرای چسباندن تکه‌های موم به روی سطح، استفاده می‌کنند. ممکن است برای هر شان جدید، به یک باره از چندین محل دست به کار شوند. نقاط شروع پایه‌هـای شـان مـومی، بـه طـور تصـادفی انتخاب شده(تصویر۶ .۷) اما پس از ساخت پایه‌ها، آنها مسیر فعالیت‌های بعدی سازندگان شان را تعیین می‌کنند.



تصویر۵-۷: در زمانی که کلنی مشغول ساخت شان است می‌توان پولک‌های مومی را که به کف کندو افتاده‌اند مشاهده کرد. این‌ها را می‌توان در میان توده‌هایی از گرده که آن‌ها هم افتاده‌اند مشاهده کرد.



تصویر ۶-۷: در زمان شروع ساخت یک شان جدید تکه‌هایی از موم را که به صورت نـامنظم و تصـادفی بـه سـقف کنـدو چسبیده‌اند را می‌توان مشاهده کرد.

ردیف‌های ضخیم و انباشته شده موم، به سوی یکدیگر توسعه می‌یابند چـرا کـه هـر زنبـور سازنده شان بتواند به آسانی فقط یک قطعه کوچک از موم را به ردیف تازه ساخته شده، اضـافه کند. در سال ۱۹۵۹،P.P.Grasse، حشره شـناس فرانسـوی، اصـطلاح همـاهنگی غیرمسـتقیم یـا stigmergy را برای این مکانیسم، پیشنهاد کرد که در آن ساخت و ساز ساختارها نیاز بـه هـیچ رابطه‌ای بین حیوانات درگیر در این کار ندارد .واکنش غریزی زنبورهای سازنده شان مـومی در افزودن توده‌های موم به مومی که قبلاً در محل گذاشته شده، منجر به تشکیل سـریع لایـه‌هـای ضخیمی از این ماده می‌شود. در طول ساخت و ساز شان، زنبورها به تدریج توده مـوم گذاشـته شده را بصوت دیواره‌های سلولی، امتداد می‌دهند.

بخش‌های جداگانه‌ای از شان، به قدری به دقت به یکدیگر می‌پیوندد که به ندرت هر گونـه بی نظمی در الگوی سلولی تکمیل شده، قابل یافت است(تصویر۷.۷).

در این مرحله از ساخت و ساز شان مومی، تعـداد زیـادی از زنبورهـا، زنجیـره‌ای از افـراد کارگر را در بین لبه شان، در زیر محل سـاخت و سـاز و دیـواره حفـره‌هـای توخـالی تشـکیل می‌دهند. آنها پاهایشان را به یکدیگر متصل نموده و به مدت طولانی به شـکل معلـق و بـدون حرکت باقی می‌مانند(تصویر۸ .۷). معنای این رفتار مؤثر و قابل توجه ،کاملاً ناشناخته است. آیا آن‌ها به عنوان نردبان طنابی برای زنبورها عمل می‌کنند تا ذرات مومی را که برروی کـف کنـدو افتاده است را جمع کنند و به محل ساخت و ساز ببرند؟ ما نمی‌دانیم.

ظاهر سلول‌ها در شان عسل، همراه بـا شـکل هندسـی مـنظم و بـاور نکردنـی آن، باعـث کنجکاوی تمام ناظران شده است و الگوی آن، به دفعات زیاد برای تزئینات هنرمندانـه اسـتفاده شده است(تصویر۹. ۷).

با مطالعه شکل هندسی شان مومی به طور مفصل‌تر، اولین برداشت‌های ما تأیید می‌شود: در اینجا، ساختاری با دقت باور نکردنی وجود دارد که ناشی از فعالیـت حشـره اسـت . ضـخامت

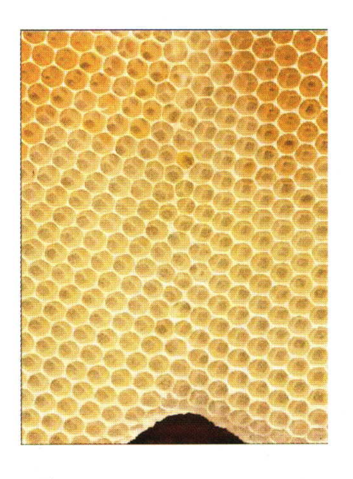
دیواره یک سلول به صورت مجزا که طولی بیش از چند سانتی‌متر دارد، دقیقاً mm ۰.۰۷است. زاویه بین دیواره‌های صاف، ۱۲۰ درجه می‌باشد(تصویر ۷.۱۰) و شان‌های مومی به طور عمودی آویزان می‌شوند. کف سلول‌ها، کاملاً افقی نیست اما شیب آن به آرامی به سمت پایین و به سوی کف سلول است. فاصله بین شان‌ها موازی ۸mm-۱۰است .

کلپر، گالیله و بسیاری از افراد مشهور دیگر که به لحاظ علم ریاضی، علاقه‌مند به تصورات غیر عملی بودند، مجذوب شان‌های زنبور عسل شدند، چرا که به نظر می‌رسید تصور امکان-پذیر بودن این گونه ساختارهای دقیق، بدون فهم و شناختی از ریاضیات، دشوار باشد.

مطالعات فیزیولوژی زنبورها، بینشی را درباره‌ی این موضوع ارائه کرده که چگونه آویزان بودن عمودی و سازماندهی موازی شان‌ها انجام پذیر است(تصویر۷.۱۱).

زنبورهای عسل دارای لایه‌هایی از موهای حسی در تمامی مفاصل بدن خود هستند. اگر نیروی جاذبه باعث شود بخش‌های واحدی از بدن، نسبت به بخش دیگر، شبیه به پاندول یا اهرم، حرکت کند این موم‌ها تحریک می‌شوند(تصویر۷.۱۲). گیرنده‌های حسی در این لایه‌ها، می‌توانند نیروی جاذبه را تعیین کنند. معمولاً مکان‌های که زنبورها برای ساخت لانه‌هایشان، انتخاب می‌کنند، تاریک بوده، از این رو حس بینایی آنان نمی‌تواند به آنها کمک کند.

با این حال به واسطه‌ی هدایت از طریق حس نیروی جاذبه، زنبورها می‌توانند ساختار عمودی شان را که به سمت پایین، از سقف به سوی کف می‌باشد را حفظ کنند. فاصله بین شان‌ها، ناشی از فضایی است که یک زنبور به هنگام ایستادن برروی شان اشغال می‌کند. هنگامی که بر روی سطح شان‌های مجاور حرکت می‌کنند، زنبورها باید قادر باشند بدون هیچ مشکلی از کنار یکدیگر عبور کنند (تصویر۷.۱۳) و این حداقل فاصله به شدت حفظ می‌شود.



تصویر۷-۷: گروه‌های سازنده، کار خود را دریک زمان و در مکان‌های مختلف آغاز می‌کنند. این کار مشکلی زیادی ایجاد نکرده و دو گروه سازنده جدا از هم در یک مکان شان سازی را آغاز نموده و سپس به یکدیگر ملحق می‌شوند.

فاصله موجود بین شان‌ها امکان فرستادن جریان هوا را در لانه، برای کنترل شرایط اقلیمی درون آن فراهم می‌کند.

الزاماً شان‌های مجاور کاملاً به صافی یک تخته نبوده، اما موازی با یکدیگر هستند. زنبورها از طریق اندام‌های حسی ناشناخته‌ای که خطوط میدان مغناطیسی زمین را شناسایی می‌کنند، به این جهت‌یابی دست می‌یابند. اما چگونه الگوی ساخت بسیار دقیق شش ضلعی هر سلول اجرا می‌شود؟ ممکن است یادگیری این مطلب ناامید کننده باشد که مکانیسمی با دقت شبه بلوری که شکل هندسی سلول را تضمین می‌کند، جدای از مشارکت اندک زنبورها در فرآیند خود سازماندهی شده است که کاملاً به تنهایی انجام می‌شود.

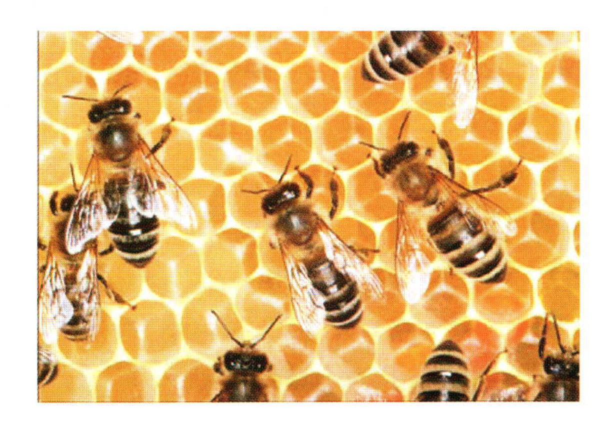


تصویر۸- ۷ : تشکیل زنجیر زنده از زنبورها، نشانه‌ای از ساخت یک شان جدید و یا تعمیر یک شان قدیمی می‌باشد اما عملکرد این زنجیره از زنبورها کاملاً مشخص نیست.

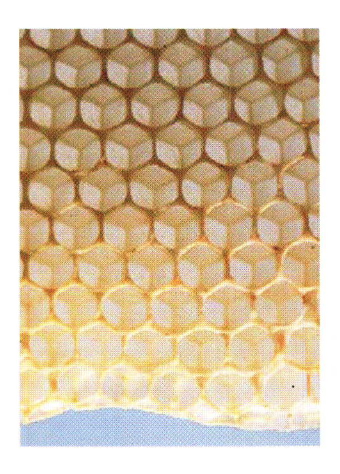
کلید دقت شبه بلوری سلول‌های شان مبتنی بر ویژگی‌های ماده سازنده موم زنبور است. زنبورهای واسپ نیز، سلول‌هایی شش ضلعی می‌سازند، اگرچه شکل هندسی آن‌ها، به صورت ابتدایی شکل گرفته و در حقیقت، سلول‌ها به شکل استوانه‌هایی هستند که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند (تصویر۱۴. ۷). ماده مورد استفاده در ساخت و ساز توسط زنبورهای واسپ، خمیری است که از الیاف چوبی و بزاق تولید می‌شود. دیواره سلول‌ها، کم و بیش به شکل منظم و به تبعیت از سلول‌های مجاور جهت گرفته‌اند، همان گونه که در سلول‌های موجود در حاشیه‌های آزاد شان با حالت متورم، قابل مشاهده است.

در عوض، سلول‌های مومی در کلنی زنبور عسل، کاملاً شکل می‌گیرند. زنبورهای عسل در مقایسه با زنبورهای واسپ، سازندگان دقیق‌تری نیستند، اما به نظر می‌رسد که استفاده از موم به عنوان یک ماده فعال به ساخت و ساز دقیق‌تر شان کمک می‌نماید. موم زنبورها حاوی بیش از ۳۰۰ ماده شیمیایی متفاوت است. هنگامی که این مواد ترکیب می‌شوند، منجر به تولید ماده‌ای با ویژگی‌های فیزیکی مایع شده، با اینکه در دماهای پایین‌تر جامد به نظر می رسد . همین

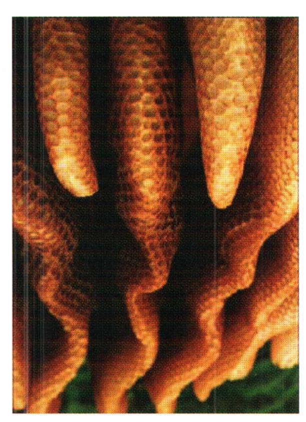
وضعیت در شیشه نیز یافت می‌شود که از دیدگاه فیزیکی یک مایع است. اشیای جامد دارای نقطه ذوب معینی هستند. از سوی دیگر، شیشه به هنگام گرم شدن، به شدت مایع می‌شود. این موضوع در مورد موم هم صدق می‌کند. با این حال، تغییراتی که با افزایش دما در موم روی می‌دهد، مداوم نیستند. ساختار درونی دقیق موم، سه حالت اصلی را نشان می‌دهد: یک حالت کریستالی به شدت منظم که در آن مولکول‌های موم همگی با دقت فراوان در کنار یکدیگر و در یک ردیف قرار می‌گیرند، حالت شایع دیگر، حالت غیر بلوری و بی‌شکل است که در آن ملکول‌ها به شکل کاملاً نامنظم در هر مسیر قرار می‌گیرند. وضعیت سوم یک حالت شبه کریستالی است که بین این دو حالت قرار دارد. بدین ترتیب که مولکول‌های موم به دو حالت غیربلوری و کریستالی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. موم گرم، ساختار غیربلوری و بی‌شکلی دارد. تغییر از حالت بلوری و شبه بلوری به ساختار غیر بلوری و بی شکل به تدریج پیش نمی‌رود، اما در دو مرحله، در دمای تقریبی ۴۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد (به اصطلاح، دمای تبدیل)، روی می‌دهد . قابلیت حرکت ذرات موم نسبت به یکدیگر در نقاط دمای تبدیلی، باعث تغییر ناگهانی خاصیت انعطاف‌پذیری موم می‌شود.



تصویر ۹-۷: یک شان جدید، دارای مومی سفید رنگ و با منظره‌ای زیبا است.



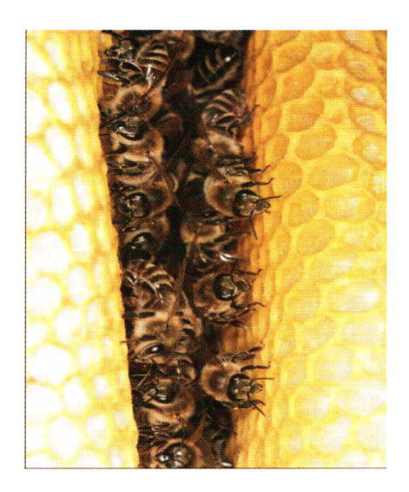
تصویر۱۰-۷: انسان‌ها مدت‌های طولانی است که مجذوب ویژگی‌های هندسی شان عسل شده‌اند.



تصویر۱۱-۷: شان‌های مومی آزاد که در حفره‌ای درون یک درخت به صورت عمودی و موازی با یکدیگر آویزان هستند.



تصویر۱۲-۷: گیرنده‌های جاذبه زمین بر روی تمام مفاصل پاهای زنبور، بین سر، سینه و شکم زنبورها واقع شده‌اند. آنها از این گیرنده‌ها به منظور جهت‌یابی و قرارگیری عمودی شان مومی در فضای تاریک کندو استفاده می‌کنند.



تصویر۱۳-۷: فضای بین دو شان مجاور به گونه‌ای طراحی می‌شود که زنبورها بتوانند از هر دو طرف به راحتی پشت به پشت هم حرکت کنند.

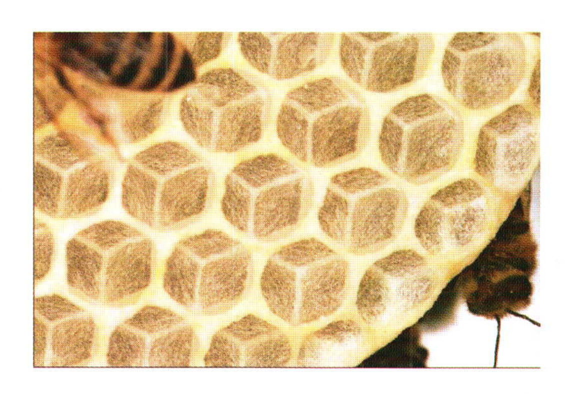


تصویر۱۴-۷: لانه ساخته شده توسط زنبورهای واسپ حالت خمیری داشته و از چوب جویده شده ساخته شده‌اند. در مقایسه با زنبورهای عسل شان آن‌ها از دقت کمتری در شکل هندسی برخوردار است و فاقد کنج‌های دقیق و لبه‌های تیز است.

این ویژگی‌های فیزیکی موم و توانایی زنبورهای عسل در افزایش دمای بدن شان تا بیش از ۴۳درجه سانتی‌گراد باعث ایجاد مبنایی برای ساخت این گونه شان‌های درست هندسی می‌شود . در سال ۱۶۳۷ R.A.Remnant بدون کمک وسایل و ابزار فنی، مشاهدات خود را به شکل ماهرانه‌ای نوشت: (گرمای بدن زنبورها، باعث گرم شدن و انعطاف‌پذیر شدن موم تا حدی می‌شود که می‌توانند با آن کار کنند و بلافاصله بعد از جمع‌آوری آن، مستقیماً از آن استفاده کنند). اگر چه Remnant، براساس یکی از تصورات غلط آن روز که تصور می‌شد زنبورها موم را از گل‌ها جمع می‌نمایند، کار می‌کرد.

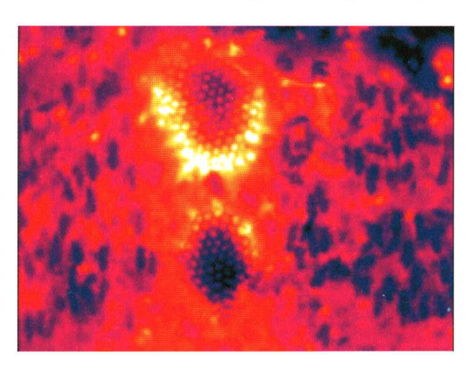
زنبورها از بدنشان به عنوان یک نمونه اولیه استفاده می‌کنند به گونه‌ای که شروع به ساخت دیواره‌های سلول‌ها به صورت لوله‌های استوانه‌ای شکل در پیرامون خود می‌کنند. کف

استوانه‌ای نیمکره صاف بوده که حتی چند هفته بعد از ساخت به همان شکل باقی می‌مانند. سلول‌های استوانه‌ای اولیه لوله‌ای شکل (تصویر۱۵ .۷)، فقط زمانی به شکل شش ضلعی متداول شان درمی‌آیند که زنبورها دمای موم را تا بین ۳۷ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد بالا ببرند (تصویر۱۶ .۷). در صورت مشاهده ساخت یک سلول در زیر یک دوربین گرمایی، زنبورهای کارگر جهت ساخت دیواره‌های نازک، موم را تا درجه‌ای گرم می‌نمایند که موم به تدریج شروع به حرکت کند. به دلیل کشش مکانیکی درونی دیواره‌ها، دیواره مشترک کاملاً راست و مستقیم ساخته می‌شود. در این شیوه، دیواره‌های جانبی بین استوانه‌های کا ملاً متراکم مومی، در یک خط مستقیم امتداد یافته به طوری که سطحی کاملاً صاف با ضخامت ۰.۰۷ mm تهیه شود. زاویه بین دو دیواره متوالی یک سلول دقیقاً ۱۲۰ درجه است.



تصویر۱۵-۷: سلول‌های شان در شروع ساخت به صورت استوانه‌ای شکل بوده و با گذشت زمان به شکل دقیق شش ضلعی در می‌آیند.

زنبورهایی که قسمت انتهایی شاخک آنان، جدا شده است، سلول‌هایی ناقص با دیواره‌هایی می‌سازند که ضخامت آن‌ها در حدود دو برابر ضخامت عادی است و همچنین دارای سوراخ‌هایی می‌باشد. اندام حسی که از طریق آن زنبورها دمای محیط پیرامون را اندازه‌گیری می‌کنند در بخش‌هایی از شاخک‌هایشان جا گرفته است. اکثر این گیرنده‌ها در بند انتهایی شاخک، قرار گرفته‌اند. قطع شاخک باعث محروم شدن زنبورها از درک بسیاری از ورودی‌های حسی می‌شود و همچنین آنها را نسبت به دما غیرحساس می‌کند. بر اساس این موضوع، می‌توان تصور کرد که زنبورهای معلول که مسئول گرم کردن موم هستند، به مدت طولانی قادر به اندازه‌گیری درست دما نباشند.



تصویر۱۶-۷: تصویر گرمایی از دو مکان در حال ساخت توسط زنبورهایی که موم را جهت جریان یافتن و ایجاد اشکال شش ضلعی منظم گرم می‌کنند.

قطعه به قطعه، الگوی کریستالی شکل سلول‌های شان، زمانی تشکیل می‌شود که موم گرم شده باشد. با نگاه کردن به شان مومی در نور، این برداشت وجود دارد که ته سلول‌ها، متشکل از سه لوزی هم اندازه است. در شان‌های تازه ساخته شده به واسطه‌ی نیمکره‌ای شکل بودن کف سلول در سوی دیگر شان یک خطای دید نیم دایره‌ای شکل ایجاد می‌شود (تصویر ۱۷. ۷).

با گذشت زمان، ته سلول‌ها به قدری نازک می‌شود که براساس اصول خود سازماندهی توضیح داده شده برای دیواره‌ها همچنین منجر به ایجاد سه لوزی و یک شان مومی کامل می‌شود.



تصویر۱۷-۷: انتهای سلول‌های تازه ساخته شده به صورت نیم دایره‌ای است. سه بخش لوزی شکل در ته هر سلول در اصل پایه‌ای برای دیواره‌های سلول طرف دیگر شان می‌باشد.

می‌توان بطور مصنوعی مدلی از استوانه‌های کوچک موم گرم شده که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند را ساخت. به تدریج شان عسل همراه با سلول‌های شش ضلعی، بدون کمک هیچ زنبوری، تشکیل می‌شود. سلول‌های شان مومی ساخته شده در نیروی جاذبه صفر در درون فضا پیمای ناسا در سال ۱۹۸۴، دقیقاً به همان طریقی که تحت شرایط کره زمین ایجاد می‌شوند، تشکیل شدند. نیروهای داخلی تشکیل دهنده الگوی سلول‌های شان عسل، به هیچ کمکی از بیرون نیاز نداشته و تنها افزودن مقداری گرما از سوی زنبورها لازم است. فقط جهت‌گیری سلولهای ساخته شده در فضا و در شرایط نیروی جاذبه صفر نسبت به محور افقی نادرست بود. این مورد قابل پیش‌بینی بود زیرا در آنجا هیچ نشانی از مسیر جاذبه وجود نداشت.

شان‌هایی که با فرایند خود سازمانده توصیف شده فوق، حاصل می‌شوند، نه تنها دارای شکل هندسی پیچیده ای هستند، بلکه دارای ویژگی‌های دقیق استاتیکی ودینامیکی می‌باشند. این ویژگی‌ها و مشخصه‌ها به شکل مداوم در طول فرایند ساخت، کنترل شده و اصلاح می‌شوند.

ریاضیدان‌ها، به طور مرتب و متقاعد کننده‌ای محاسبه کرده‌اند که شکل هندسی شان زنبور مطلوب‌ترین راه حل برای ساخت بزرگترین حجم احتمالی شان و با حداقل میزان مصرف موم است. در اصل این دیدگاه اول توسط Papus، ریاضیدان و ستاره شناس یونانی (حدود ۳۵۰ - ۲۹۰ قبل از میلاد) مطرح شد. مسلماً این نتیجه‌گیری‌ها در مورد بخشی از شان‌هایی که دقیقاً در زیر حاشیه و دیواره سلول هستند، درست است. با این حال، در صورتی که دیواره ضخیم مشترک ما بین سلول‌ها در محاسبه گنجانده شود، این ۳۰٪ اضافی (که گاهی اوقات به اندازهٔ ۵۰٪ است) در میزان موم استفاده شده برای ساخت یک سلول باتوجه به ظرفیت ذخیره‌سازی، زیاد مطلوب و بهینه نمی‌باشد .

شان فقط شامل موم نیست. زنبورها همچنین با رزینی که از روی گیاهان جمع‌آوری می‌کنند، به عنوان یک ماده به درون و نیز بر روی دیواره‌های سلول شان اضافه می‌کنند. از این طریق، این احتمال برای زنبورها ایجاد می‌شود که بتوانند ویژگی‌های بخش‌هایی از شان را بر اساس کاربردهای متفاوت تنظیم کنند.

عملکردهای شان مومی

یک شان همراه با ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار سلول عملکردهای بسیاری از جمله موارد ذیل را انجام می‌دهد:

- پناهگاه
- محل تولید عسل

- انبار عسل
- انبار گرده
- محل پرورش نوزاد
- سیستم ارتباطی
- ذخیره اطلاعات
- هویت مخصوص کلنی
- اولین خط دفاعی در برابر عوامل بیماری‌زا

برای اینکه شان مومی چهار خصوصیت اول در این فهرست را تأمین نماید نیازی به داشتن مصالح ساختمانی با ویژگی خاص نبوده و فقط براساس تقسیم‌بندی مناسبی از مناطق خاص از شان می‌باشند. پنج عملکرد آخر به ویژگی‌های خاص فیزیکی و شیمیایی شان مومی بستگی دارند.

آیا همه چیز به شرایط بستگی دارد؟

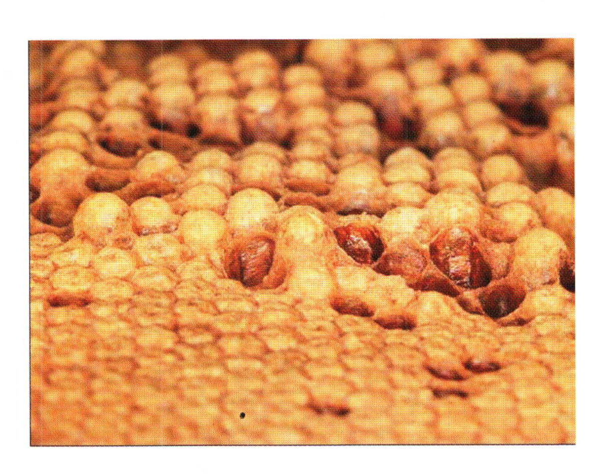
برخی از شان‌ها در اصل برای ذخیره عسل مورد استفاده قرار می‌گیرند. این انبارها در پیرامون محوطه داخلی کندو، قرار دارند. محل ارزشمند پرورش نوزادها در مرکز کندو قرار داشته، جاییکه ممکن است شامل چندین شان مجاور هم نیز باشد. هریک از این شان ها به سه منطقه تقسیم می‌شوند: ۱)سلول‌های دارای تخم، لارو و شفیره در مرکز. ۲) سلول‌های بیرونی‌تر مملو از گرده و ۳) جمعی از سلول‌های عادی در پیرامون قسمت خارجی شان که مملو از عسل است . این الگو در طول پرورش افراد مؤثر در تولیدمثل بویژه در سلول‌های بزرگ نرها پیچیده‌تر می‌شود(تصویر۱۸ .۷).

در مقایسه با سلول‌های مملو از شهد یا عسل، درب سلول‌های حاوی گرده بسته نمی‌شوند. گرده با مقادیر کمی از شهد ترکیب شده و با فشار به درون سلول‌ها فشرده می‌شود(تصویر۱۹.۷). این توده جامد که از گرده نرم جمع‌آوری شده از گل‌ها، ایجاد شده است، نیازی به ذخیره‌سازی محکم ندارد.

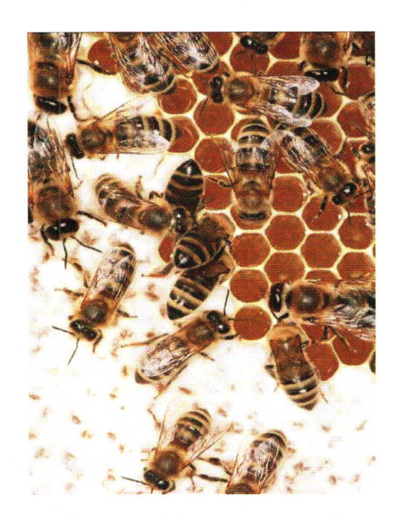
فرآوری شهد به صورت عسل نیاز به تبخیر دارد. تبخیر از طریق گرمادهی انجام شده و برای این منظور از گرمای بدن زنبورها استفاده می‌شود .

هنگامی که شهد در یک غلظت رضایت بخش ذخیره شده، هر سلول از طریق یک درپوش مومی بسته می‌شود. محور بلند افقی سلول‌ها در شان اندکی به سمت داخل متمایل شده، از این رو تلفیق نیروی جاذبه و کشش سطح مانع از جاری شدن شهد به خارج از سلول‌ها، قبل از بسته شدن درب سلول‌ها می‌شود(تصویر ۲۰ .۷).

کلنی می‌تواند در طول مدت یک تابستان ،بالغ بر ۳۰۰kg عسل تولید کند که غالباً تمام آن به عنوان ماده سوختی برای تولید گرما استفاده می‌شود (فصل ۸). ذخیره‌سازی این منبع عظیم عسل، خودش دارای خطراتی است. به عنوان مثال: میکرو ارگانیزم‌ها می‌توانند در این مکان رشد کنند. زنبورها با ترکیب پپتیدها و آنزیم‌های ضدقارچ و ضدباکتری حاصل از غدد بزاقی خود با شهد مانع از رشد قارچ‌ها و باکتری‌ها می‌شوند.



تصویر ۱۸-۷: شان محلی برای پرورش تمامی نوزادهای ملکه، کارگر و نر در یک کلنی می‌باشد. سلول شفیره نر بزرگ بوده و دارای درپوشی برآمده است. در حالیکه شفیره کارگر کوچک‌تر بوده و دارای سرپوشی مسطح می‌باشد.



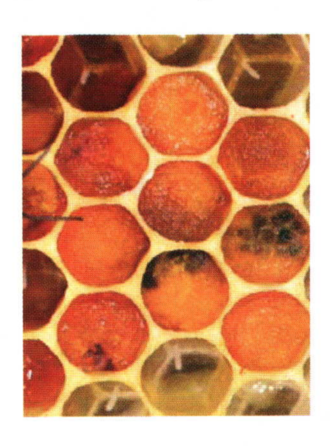
تصویر ۱۹-۷: شهد تازه در سلول‌ها به صورت مایعی براق دیده می‌شود. این حجم از ماده شیرین انبار شده باعث جلب غارت‌گران، اعضای کوچک سایر گونه‌ها یا رقبایی از کلنی‌های مجاور که در جستجوی راهی آسان، برای پرکردن انبار خود هستند می‌شود و اساساً در اواخر تابستان یا در زمان کمبود مواد غذایی در محیط که زنبورها از نیش‌های خود بهره می‌جویند غارت روی می‌دهد.

اگر زنبوری، زنبور دیگر را نیش بزند، بدون هیچ مشکلی می‌تواند نیش خود را از بدن او بیرون آورد. در اواخر سیر تکاملی حیواناتی نظیر پستانداران زاوئد خار مانندی بر روی بدنه نیش ظاهر شدند که باعث شده تا زنبوران عسل پس از نیش زدن قادر به خارج کردن آن از بدن میزبان نباشند.

پس از نیش‌زنی، دستگاه نیش، همراه با غده سمی متصل به آن، ماهیچه‌های کوچک و سلول‌های عصبی، از بدن زنبور جدا شده که به خاطر جراحت عظیم و بزرگ در قسمت شکم، زنبور خواهد مرد. با این حال تعداد زنبورهایی که به این طریق، زندگی شان را از دست می‌دهند به قدری کم است که هیچ حق انتخابی در مورد داشتن نیش بدون خار در مسیر تکامل برای آنان وجود نداشته است.

ماهیچه‌های کوچک سیستم نیش جدا شده، همچنان فعال است و به انجام عملکرد بخش‌های مختلف نیش که در رابطه با یکدیگر حرکت می‌کنند، ادامه می‌دهد. نوک نیش به داخل بافت میزبان فرو رفته و فرمون هشدار دهنده‌ای که از غده زیر نیش در هوا آزاد می‌شود، سایر افراد کندو را برای حمله بسیج می‌کند. ترکیب اصلی فرمون هشدار دهنده، ایزوپنتیل استات است یک ماده شیمیایی مسئول در ایجاد بوی موزهای رسیده است. به همین دلیل ،خوردن موزهای رسیده در حوالی کندو زنبورها توصیه نمی‌شود، مگر آن که کسی بخواهد آن بر روی هشدار دهندگی زنبورها – نه برروی خودش- امتحان کند.

الگوی توزیع نوزادها ،گرده و عسل در شان نوزادها، به لحاظ بیولوژیکی معنی‌دار است. نوزادها برای حفاظت بهتر، در وسط قرار گرفته، توده‌های گرده دقیقاً در سلول‌هایی در مجاورت نوزادها قرار داشته تا پرستارهای نگهداری کننده از لاروها، امکان دسترسی آسان به گرده را داشته باشد و بقیه شان مملو از عسل است.



تصویر ۲۰-۷: گرده به صورت یک توده بزرگ و یا به صورت پودر کاملاً ریزی در سلول‌ها ذخیره می‌شود.



تصویر ۲۱-۷: زمانی که میزان غذای قابل برداشت در محیط بیرون اندک باشد هجوم ناگهانی بین کندوها جهت دستبرد به عسل امری شایع می‌باشد و نزاع شدید بین زنبوران در ورودی کلنی و یا در درون آن انجام می‌شود.

اما چگونه این مسئله اتفاق می‌افتد؟ چه کسی این عمل را بررسی اجمالی کرده و کاری را که منجر به این هماهنگی می‌شود، تنظیم می‌کند؟ مجدداً باید گفت که زنبورها مثالی از یک مکانیزم خود سازماندهی شونده و غیرمتمرکز را نشان می‌دهند.

الگوی توزیع نوزاد، گرده، عسل، دارای چندین منشاء است. ملکه تخم‌ریزی را صورت داده و وظیفه اصلاح توزیع و پخش توسط زنبورهای کارگر صورت می گیرد. زنبورهای دریافت کننده شهد که شهد را از جویندگان غذا می‌گیرند، آن‌ها را در سلول‌ها، ذخیره می‌کنند. زنبورهای جمع آوری کننده گرده، خودشان گرده‌ای را که جمع‌آوری کرده‌اند در سلول‌ها ذخیره می‌کنند. در حقیقت سؤال مربوط به منشاء و خواستگاه الگوی توزیع، برخاسته از اصول و قواعدی است که ذخیره یا حذف نوزادها ، گرده یا شهد از هر سلول را کنترل می‌کنند.

هر سلول در شان در دفعات مختلف، جهت حفظ هر سه محتوای احتمالی (نوزاد، شهد و یا گرده)، قابل استفاده است. در بین حشرات سازندگان شان، از جمله زنبورهای مخملی، زنبورهای واسپ و زنبورهای عسل همگی در استفاده چند منظوره از سلول‌های شان منحصر به فرد هستند. در مقایسه با زنبورهای عسل، سایر زنبورها از هر سلول فقط برای یک منظور و هدف استفاده می‌کنند .

در اوج فصل تابستان، ملکه در هر دقیقه یک تخم در سلول خالی می‌گذارد. او روزانه ۱ – ۲ هزار تخم در سلول‌ها گذاشته، اگرچه با در نظر گرفتن شکل هندسی منظم شان، این احتمال کاملاً وجود دارد اما او به صورت نامنظم در سلول‌های یک شان تخمریزی می‌نماید. در عوض او سلول‌های خالی را که در نزدیکی سلول‌های حاوی نوزاد است را ترجیح می‌دهد در حالی که تخمگذاری را از مرکز شان آغاز می‌کند. در این شیوه، محیط‌هایی متوالی و مستقر در مرکز مربوط به نوزادها، تولید می‌شود. از نظر فیزیولوژی اجتماعی کلنی زنبور نزدیک به هم

بودن سلول‌های نوزادان به یکدیگر بسیار مهم است. سپس گرده در پیرامون ناحیه مرکزی نوزادی ذخیره شده و حلقه‌ای از عسل در حاشیه بیرونی سلول‌های حاوی گرده ذخیره می‌شود(تصویر۲۲.۷).

میزان عملکرد مورد نیاز برای پر کردن ذخایر و گرده در کندو ، موثر است. کلنی زنبور ، بالغ بر ۳۰۰kg عسل، در طول یک فصل تولید می‌کند. این عمل به حدود ۷.۵ میلیون سفر برای جستجوی شهد نیاز دارد. در مجموع و با فرض این که هر زنبور با محصول کامل به لانه باز گردد، این مقادیر در حدود ۲۰ میلیون کیلومتر پرواز است که در حدود نیمی از فاصله از زمین تا ونوس است. بازده مفید پرواز برای جستجوی غذا را می‌توان به اندازه ۴۰ میلی‌گرم شهد، محاسبه کرد که تقریباً کمی بیشتر از نصف وزن بدن زنبور است. با درنظر گرفتن این محاسبه که گروه خاصی از زنبورهای تغلیظ کننده، شهد با ۴۰ درصد قند به عسل با غلظت ۸۰ درصد قند تبدیل می‌نمایند، برای پر کردن هر سلول با عسل، نیاز به ۲۵ بار پرواز است.

معمولاً زنبور جمع کننده گرده در حدود ۱۵ میلی‌گرم از گرده را توسط دو سبد گرده در طرفین پاهای عقبی‌اش به کندو حمل می‌کند. هر کلنی در حدود ۳۰ -۲۰ کیلوگرم گرده در هر سال جمع‌آوری می‌کند. در حدود ۲ -۱ میلیون پرواز برای جمع‌آوری این مقدار گرده، لازم و ضروری است .

الگوی متداول توزیع نوزاد، عسل و گرده در شان نوزادها از طریق یک فرآیند خود سازماندهی کننده اجرا می‌شود.



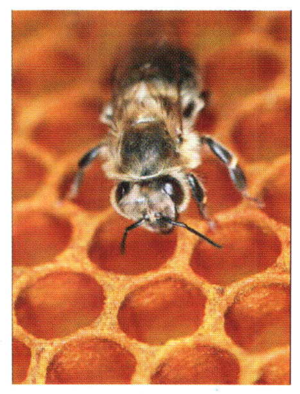
تصویر۲۲-۷ : نوزاد، گرده و عسل پوشیده شده به صورت نا منظم در شان پخش نشده و دارای یک الگوی مشخص توزیع می‌باشند.

در اصل، نیروی جاذبه نامشخصی وجود دارد که تعیین کننده محل فضایی ویژه در شان مومی بوده و الگوی توزیع را کنترل می‌کند. علامت شیمیایی، یا برخی از ویژگی های فیزیکی

نظیر مشخصه‌های مکانیکی سلول‌های شان یا دما، احتمالاً از نیروهای نامشخص هستند. این مسئله از طریق پراکنده کردن شان نوزادها، همانند یک پازل و قرار دادن مجدد آن اما در جهتی متفاوت، قابل بررسی و آزمایش است. در مدت بسیار کوتاهی، زنبورها، این بی‌نظمی و عدم سازماندهی را اصلاح خواهند کرد، و الگوی اولیه را مجدداً اجرا می‌نمایند.

بر این اساس، می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که هیچ الگوی حک شده‌ای بر روی سلول‌های شان وجود ندارد که جایگاه را مشخص نموده و زنبورها از آن به عنوان شاخص تعیین مسیر استفاده کنند. چند قاعده و قانون ساده منجر به توزیع تمرکز سلول‌های پرشده می‌شود و یکی از آنها این است که همیشه ملکه تخم‌هایش را در مجاورت سلول‌های نوزادی می‌گذارد. جریان ورودی شهد به سوی کندو همیشه بیشتر از جریان ورودی گرده است و برداشت عسل از سلول‌ها نیز سریع‌تر از گرده است. گرده و عسل در داخل سلول‌های نزدیک سلول‌های نوزادی ،در حدود ۱۰ بار سریع‌تر از سلول‌های دور از آنها پر و تخلیه می‌شوند. براساس توضیحات فصل۶ گرده برای تولید ژله شاهانه مصرف می‌گردد. عسل بر اساس توضیحاتی که در فصل ۸ ارائه خواهیم کرد، در جهت گرم نمودن نوزاد، استفاده می‌شود. در مقایسه با پر و تخلیه شدن سریع سلول‌های عسل و گرده، مدت زمان رشد نوزاد، نسبتاً طولانی است که منجر به تشکیل یک مرکز با ثبات و پایدار در شان می‌شود.تعداد تخم‌های گذاشته شده و مقادیر عسل یا گرده تولید و مصرف شده، هیچ نقشی را در پدیدار شدن چنین الگویی ایفاء نکرده اما تنها سرعت توزیع هر یک از مواد را تعیین می‌کند.

شان زنبورعسل، یک شبکه ارتباطی و یک محل ذخیره اطلاعات و موم به عنوان یک خط تلفن، اطلاعات را در بین زنبورها که هر یک عضوی از سوپرارگانیزم هستند انتقال می‌دهد. به عنوان انبار حافظه شان مومی، حاوی داده‌های شیمیایی است که زنبورها برای مسیریابی فضایی و شناسایی از آن استفاده می‌کنند.



تصویر۲۳-۷: سلول‌های شان دارای دیواره‌های نازک مومی است.حاشیه فوقانی و دیواره سلول‌ها دارای ضخامتی ۰/۴ میلیمتری بوده که با یکدیگر یک شبکه شش ضلعی را در سطح شان بوجود می‌آورند.

یک خط تلفن

در صورت مرتعش نمودن این دیواره‌ها با دامنه کم، ارتعاشات در طول شان مومی پخش شده (تصویر ۲۳-۷) بنابراین شان مومی نقش مهمی را در تبادل اطلاعات بین زنبورها که در تاریکی کامل لانه، جائیکه هیچ سیگنال نوری قابل استفاده نیست، ایفاء می‌کند.

۷۰ سال پیش، karl von Frisch ، می‌اندیشید که آیا ممکن است ارتعاشات نقش مهمی را در زبان رقص ایفاء کنند و اخیراً به واسطه نتایج آزمایش ساده رفتاری ظن و تردید او تأیید شده است. زنبورهایی که بر بالای سلول‌های خالی می‌رقصند در مقایسه با زنبورهایی که بر روی سطوح صاف سلول‌هائیکه مهر و موم شده‌اند می‌چرخند، سه تا چهار بار بیشتر، دیگر افراد کلنی را ترغیب نموده تا مکان‌های منابع غذایی را ملاقات کنند. ظاهرا" عملکردهای تبادل اطلاعات بر روی سلول‌های خالی به مراتب بهتر از سطوح صاف است.

تاکنون مشخص شده که همانند ساقه گیاهان که برای ارسال علائم توسط برخی از حشرات استفاده می‌شود شان مومی یک خط انتقال سیگنال نیست. در عوض به نظر می‌رسد که زنبور ها تعامل پیچیده‌ای بین ویژگی‌های فیزیکی موم و رفتار ارتباطی خودشان کشف کرده‌اند.

دیواره سلول‌های شان در زنبورهای صخره (*Apis dorsata*) و زنبور کوچولو (*Apis florae*) که در محیط های آزاد لانه‌سازی می‌نمایند فاقد برآمدگی است. این زنبورهایی که در مکان‌های آزاد، لانه سازی می‌کنند، کلنی‌هایی را تشکیل می‌دهند که شامل هزاران زنبور است که همگی همراه باهم در توده‌ای زنده در پیرامون شان بوجود می‌آورند.اکثر ارتباطات در آن جا شکل گرفته و شان مومی در این امر نقشی ندارد. در عوض زنبورهایی که در حفره‌های تو خالی، لانه سازی می‌کنند همانند زنبورهای *Apis mellifera*، بخش بیشتری از زندگی شان را به طور مستقیم بر روی شان سپری می‌کنند. دیواره‌های ضخیم شده شان‌ها، همراه باهم تشکیل شبکه‌ای را می‌دهند که بر روی دیواره‌های نازک سلول تکیه زده و به آسانی در مسافت‌های کوچک در سطح صاف شان ، جا به جا می‌شوند، درست مانند تور دروازه فوتبال در زمانی که سوراخ ها ی تور به طرفین کشیده شوند. این گونه ارتعاشات می‌توانندر طول کل شان پخش شوند، همانند جابجای‌هایی که در حاشیه سلول ضخیم شده روی می‌دهد .این‌ها نه اشکال موجی طولی هستند و نه بالعکس، بلکه تغییر شکل‌هایی با شتاب بالا هستند. این (شبکه گسترده شان) ، بهترین ناقل ارتعاشات در فرکانس بین ۲۷۰ -۲۳۰ هرتز (هرتز= سیکل در ثانیه) می‌باشد و حتی می‌تواند ارتعاشات را در سلول‌های مملو از عسل و یا خالی جابجا کند. پوشاندن سلول‌ها با درپوش، باعث توقف گسترش نوسانات می‌شود و هنگامی که زنبورها بر بالای سلول‌های درپوش‌دار می‌رقصند، هیچ ارتعاشی از سلول‌های خالی مجاور تخلیه سلول‌های در پوش‌دار، گزارش داده نمی‌شود، با این حال اگر منطقه سلول‌های در پوشیده،

همانند جزیره‌ای که اطرافش را سلول‌های باز احاطه کرده است، قرار گیرد، ارتعاشات در برخورد با سلول‌های دربسته از طریق سلول‌های اطراف این جزیره حرکت می‌کنند. حقیقتی که انتقال بهترین فرکانس‌های نوسان‌دار، مستقل از سلول‌های پرشده یا خالی می‌باشد، جالب است و باعث می‌شود که ساختار شان موضوع جالبی برای مطالعه مهندسان باشد. ظاهراً شان‌های عسل نه تنها دارای ویژگی‌های ساختاری نظیر ثبات و پایداری بالا با استفاده از حداقل مواد است که ارزش رقابت و تقلید را دارد، بلکه بدلیل برخی تکنولوژی‌ها، دارای ویژگی‌های دینامیک بی‌نهایت سودمندی است .پر بودن فیزیکی سلول‌ها، هیچ تأثیری بر پراکندگی سیگنال به شکل پیش‌بینی نشده‌ای ندارد و ممکن است منجر به توسعه و گسترش سیستم ارتباطاتی در گستره شان شود.



تصویر ۲۴-۷: زنبورها جهت تقویت مکانیکی لبه‌های سلول‌ها از بره‌موم استفاده می‌کنند.

شاید در یافتن این موضوع شگفت‌انگیز نباشد که باند فرکانس کوتاه ۲۳۰ - ۲۷۰ هرتز که شان به بهترین اشکال آن را انتقال می‌دهد، طیف فرکانس‌های نوسانی را در برمی‌گیرد که زنبور رقصنده به شکل پالس‌های کوتاه، در زمان رقص ارتعاشات شکم تولید می‌کند (به فصل ۴ مراجعه شود).

زنبورهای عسل که ساختار شان‌های مومی خود را در کمترین جزییات کنترل می‌کنند، ظاهراً شبکه تلفن‌شان را به گونه‌ای نصب می‌کنند که بهترین فرکانس‌های ارتباطاتی، را به بهترین وجه هدایت کنند. ویژگی‌های ماده، ساختار معماری شان و رفتار زنبورها به شکل عالی با یکدیگر تطبیق و هماهنگ می‌شود .

سه جنبه وجود دارد که ارزش بررسی دقیق‌تری را دارد:

- چه احتمالاتی برای زنبورها در زمینه تنظیم شبکه تلفن وجود دارد؟

- آیا خطوط خصوصی در شبکه تلفن امکان‌پذیر است یا آیا تماس زنبورها با یکدیگر به صورت همزمان روی می‌دهد؟
- چگونه سر و صدای پس زمینه ۱۰ هزار زنبور حاضر در کلنی فیلتر بندی می‌شود؟

تنظیم خط تلفن

دمای موم شان عاملی است که دارای بیشترین تأثیر در تنظیم شبکه تلفن است .مقاومت مکانیکی موم نسبت به نوسان با افزایش دما،کاهش می یابد و تنظیم شبکه‌ای در حاشیه‌ی دیوارهای سلولی، برای زنبورهای در حال حرکت به شدت آسان‌تر می‌شود. این وضعیت فقط در حدود ۳۴ درجه سانتیگراد کار می‌کند و کل سیستم در صورتی از کار می‌افتد که دمای موم بیشتر از این مقدار افزایش یابد، چرا که موم به قدری نرم شده و تغییر شکل می‌دهد که نمی‌تواند ارتعاشات را انتقال دهد. بعد از شروع هوای سرد در هنگام صبح، دمای حاشیه سلول‌ها در منطقه رقص زنبورها در اولین ساعات فعالیت جستجوی غذا، تا دمای مطلوب افزایش می‌یابد. زنبورها هم به درستی دمای این منطقه را با استفاده از توانایی‌هایشان در تنظیم دما، تنظیم خواهند کرد.



تصویر۲۵-۷: شان‌ها به واسطه قاب‌های چوبی توسط زنبورها احاطه می‌شوند. این قاب چوبی مانع از جابجایی‌های افقی شبکه ارتباطی در شان شده و مکالمات کاملاً به صورت ناقص مبادله می‌شود. زنبورها شان‌ها را براساس نوع رقصی که انجام می‌دهند به واسطه ایجاد شکاف بین شان و قاب اصلاح کرده واز ایجاد تفرقه در سیگنال‌های ارسالی ممانعت می‌کنند.

زنبورها می‌توانند تا حد توانایی ظرفیت‌شان برای کنترل دمای موم، دست به کار شوند. در صورتی که کل کلنی زنبورها جا به جا شود و در معرض آب و هوایی نامساعد قرار گیرد که در آن کل لانه گرم شود، در چنین موردی، زنبورها استراتژی مشخصی را که در صنعت ساخت و ساز معروف به عنوان استفاده از مواد افزودنی است، به کار می گیرند. اگر دمای موم تعیین کننده ویژگی‌های نوسان دیواره سلولی، به مدت طولانی مناسب نباشد، زنبورها بره‌موم را به عنوان ماده‌ای افزودنی با موم دیوارهای سلولی ترکیب می‌کنند(تصویر۲۴ .۷). تناسبی که بر

اساس آن موم و رزین ترکیب می‌شوند و توزیع فضایی آن‌ها طوری تنظیم می‌شود که ویژگی-های تشدید کنندگی ارتعاشات توسط موم در طیف صحیحی قرار گیرد.



تصویر۲۶-۷: در زمان اوج جستجوی غذا، تعداد متعددی زنبور رقاص، همانند چهار مورد علامت‌گذاری شده در تصویر به طور همزمان خواهند رقصید و این امر اغلب برای منابع غذایی مختلف می‌باشد.

بره‌موم از طریق آمیختن نوارهای کوچکی به درون موم اضافه می‌شود. حاشیه‌ها و دیوارهای سلول که از مواد ترکیبی ساخته می‌شوند، مشابه با نمونه توسعه داده شده مهندسان ساختمان است که در آن قطعه‌ی بزرگی بتن با چگالی بالا و مقاومت بالا در برابر کشش هستند، تهیه می‌شود. قطعات کوچک فلز به سیمان مایع اضافه می شود تا آن را سفت و محکم کند.

شرایط عمومی اقلیمی، تنها عواملی نیستند که بر ساخت شان توسط زنبورها تأثیر گذار باشند. برخی از شیوه های زنبور داری می تواند به طور غیر عمدی با شبکه تلفن زنبورها ،تداخل یابد .پرورش دهندگان زنبور عسل ، به منظور تسهیل جا به جایی شان ها در داخل کندو ،دور آنها را با قاب‌های چوبی احاطه می‌کنند. قابی که به طور کامل شان را از تمامی جهات مسدود می‌سازد، باعث محدود شدن حرکت ارتعاشات در شبکه سطحی موم شده که قادر به گسترده شدن از میان حاشیه‌های سلول‌ها نیست و لبه‌ی آزادی وجود ندارد که ارتعاشات بتواند گسترش یابند. زنبورهایی که بر روی شان‌هایی هستند که نمی‌توانند بر روی آن برقصند، بدین طریق توسط ارتعاشات تحریک نمی‌شوند. این شان‌ها، سالم باقی می‌مانند که توسط زنبوردارها در کندو قرار داده می‌شوند. در شان‌هایی که بر روی آنها رقص ارتعاشات شکمی انجام می‌شود، زنبورها ،شکاف های بزرگی بین موم و قاب‌های چوبی ایجاد می‌کنند (تصویر۲۵ .۷) و بدین ترتیب، انتقال سیگنال کاملاً حفظ می‌شود.

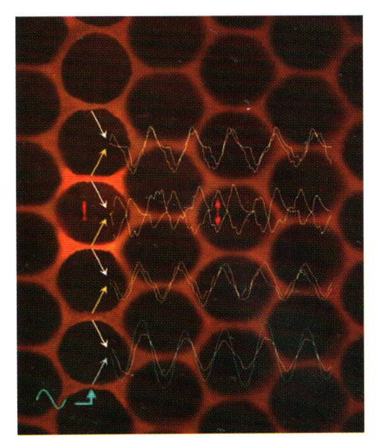
خطوط خصوصی سیستم ارتباطی ارتعاشی

کوچک‌ترین توزیع ارتعاشی در تمامی گوشه‌های شان در بالای شبکه سطحی حاشیه‌های سلول، پراکنده خواهد شد. چگونه از تداخل ارتعاشات دو گروه مختلف که همزمان رقص انجام می‌دهند (شکل ۲۶-۷) اجتناب می‌شود؟

این مشکل به سادگی توسط تعداد زنبوران حاضر در محل انجام رقص ارتعاشات شکمی حل می‌شود. جا به جایی‌ها در شبکه سطحی در بین زنبورهای جمع شده در گروه‌های آزاد به دور دست، به دلیل وجود فضاهای بزرگ در بین آنها، رخ می‌دهد. در مناطقی که در آن تراکم زنبورها بالاست، میزان بارگیری روی شان، هم بالاست و دارای تأثیر مشابهی همانند سلول‌ها با درپوش است و نوسانات کاهش می‌یابند و فقط به اندازه‌ی چند سانتی‌متر جابجا می‌شوند. بدین ترتیب، طیف پیام‌های نوسانی و متعاقباً محیطی که بواسطه آنها نیروی کار بسیج می‌شود به شکل مناسبی تنظیم می‌شوند.

سیگنال‌های ضعیف در میان سر و صدای زیاد - کمک از سوی خاصیت مکانیکی شان مومی

معمولاً سیگنال ارتباطی قوی‌تر از سیگنال‌های توزیع شده در محیط پیرامون، یا از (سروصدای پس زمینه) هستند. اما این امر در مورد ارتعاشات مربوط به حرکت رقص ارتعاشات شکمی زنبورهای عسل، صدق نمی‌کند. چندین هزار زنبور در یک شان مشابه فعال بوده و سرگرم انجام وظائف گوناگونی هستند. سر و صدای پس زمینه متوالی را تولید کرده و سیگنال‌های ارتباطی از آنها بالاتر نمی‌رود. پس چگونه این گونه سیگنال‌های ضعیف، شناخته می‌شوند؟



تصویر۲۷-۷: نوساناتی بر روی شان گسترش می‌یابند، مانند جابجایی لبه‌های سلولی، تشکیل یک الگوی دو بعدی داده که ویژگی‌های فیزیکی و هندسی شان بر روی آنان تأثیر داشته و این سیگنال‌ها نشان‌دهنده محل زنبور رقاص در محیط تاریک کندو است. اگر در لبه یک سلول واحد (علامت آبی) لرزش ایجاد شود، تمام دیگر لبه‌های سلولی در همان جهت دچار نوسان خواهند شد. البته به استثناء یک سلول (علامت قرمز) که در خلاف جهت دیگران حرکت خواهد کرد.از آنجا که یک زنبور رقاص با هر شش پای خود، نه تنها با یک پا، بر روی سطح شان می‌ایستد چندین سلول نوسان‌دار او را احاطه خواهند کرد.

در اخترشناسی رادیویی، مشکل شناسایی سیگنال‌های ضعیف در سرو صدا از طریق بهم پیوستن آنتن‌های جدا از هم حل می‌شود. بدین‌ترتیب سیگنال‌های حاصل از چندین منبع را می توان مقایسه کرد و وقایع ضعیف و کم نور از نقاط بسیار دور را از طریق تقارن و همزمانی آن‌ها، شناسایی کرد.

هر زنبور، از طریق پاهایش، دارای شش نقطه تماس توزیع شده فضایی با حاشیه‌های سلول است. در این شیوه، آن‌ها می‌توانند نوسانات را در تمامی شش پای خود با یکدیگر، مشابه با اصل استفاده شده در اختر شناسی رادیویی، مقایسه کنند.

آیا از طریق مقایسه نقاط مختلف در شبکه حاشیه‌های سلول، امکان تشخیص الگوی ارتعاشی در شان زنبور عسل که در هیچ مکان واحدی قابل مشاهده نیست وجود دارد؟

آنچه که دریافت می‌شود این است که نوساناتی که در شان پخش می‌شود، همانند جا به جایی حاشیه‌های سلول، منجر به تصویر فضایی بسیار منظمی از حرکت حاشیه سلول می‌شود: در ساده‌ترین نمونه، جا به جایی نوسانی یک حاشیه سلول واحد، منجر به حرکت همزمان رو به عقب و جلوی حاشیه سلول مقابل از کل ردیف سلول‌های در حال حرکت به جلو و عقب، به صورت همزمان با یکدیگر می‌شود . با این حال در یک سلول واحد، کل ردیف‌های حاشیه‌ای برآمده، در مسیر مخالف با یکدیگر حرکت می‌کنند (تصویر۲۷ .۷). از آنجائیکه زنبور در حال گردش بر روی دیوارهای سلول با شش پا فشار می‌آورد، پیش بینی می‌شود که زنبور رقاص، به عنوان ناقل نوسانات، دارای چندین سلول ضربه‌ای در اطرافش است. زنبور دریافت کننده ارتعاشات شان، بر حاشیه‌های سلول می‌ایستد، در حالی که به اندازه‌ی عرض سه سلول را با پاهایش می پوشاند و می تواند با استفاده از سلول‌های حسی حساس به ارتعاش که در پاهایش قرار دارند، الگوی دوبعدی نوسان را در تاریکی درک کند (تصویر ۲۶ -۷). تجزیه و تحلیل‌های رفتاری در ضبط‌های ویدئویی، این فرضیات را تأیید می‌کند. ضبط ویدئویی فرد دنبال کننده زنبور رقاص که به لحظه شروع رقص و چرخش بر می‌گردد، امکان تعیین محلی را که برای اولین بار فرد دنباله‌رو ، محل رقاص را شناسایی می‌کند، فراهم می‌سازد. زمانیکه او موقعیت زنبور فعال و رقصنده را نسبت به خود درک نموده سر خود را به سوی او می‌چرخاند (تصویر۲۶-۷). فرد دنباله‌رو در مسیری مناسب حرکت نموده تا با رقاص بر خورد کند و فوراً در رقص ارتعاشات شکمی ، شرکت می‌کند. تصویر انطباقی ناشی از موقعیت‌های ضربان‌دار شناسایی شده از طریق اندازه‌گیری‌های فیزیکی و ناشی از آنالیزهای رفتاری، زمانیکه فرد دنبال کننده فرد رقص کننده را شناخت، تعیین شده است. سلول‌های ضربان‌دار دستگاه‌های فیزیکی و موقعیت‌های (من رقاص را شناسایی کرده ام) تجزیه و تحلیل‌های رفتاری، مشابه هستند. این مشاهدات نشان می دهند که این احتمال بسیار است که الگوی دو بعدی نوسان در شان ،زنبور

ها را به سوی رقاص ،حتی در یک شان پر سرو صدا سوق دهد . رقص هایی که بر روی مواد سفت و محکم، یا بر روی بدن سایر زنبورها در خوشه بچه زنبور روی می‌دهد، زنبورها را از فاصله‌ی دور به سوی رقاص، جلب نمی‌کند.

انبار حافظه شیمیایی

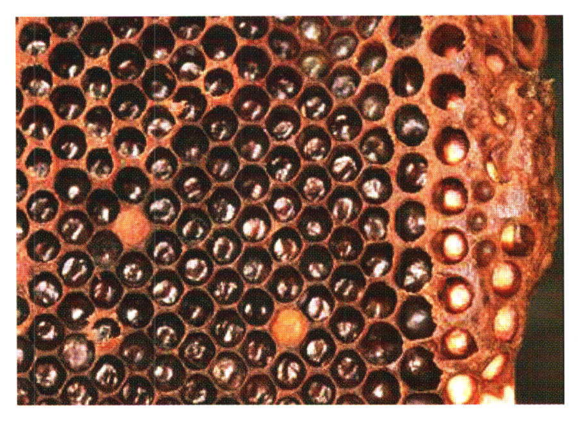
به مرور زمان، از طریق تجزیه کربوهیدراتهای دارای زنجیره بلند و تبخیر اجزای موم در هوای پیرامون کندو، ترکیب شیمیایی موم زنبور تغییر می‌کند. آنزیم‌هایی که زنبورها به ترکیب موم اضافه می‌نمایند نیز باعث تغییر ساختار آن می‌شود. وانگهی، شان به واسطه تأثیرات ناشی از بقایای لارو، فضولات به جا مانده در محیط نوزادها و گرده و رزین وارد شده، به شدت کثیف می‌شود (تصویر۲۸ .۷). در ابتدا، شان‌های عسل متجانس، به لحاظ شیمیایی به فرش رنگی وصله دوزی شده شیمیایی تبدیل می‌شوند.

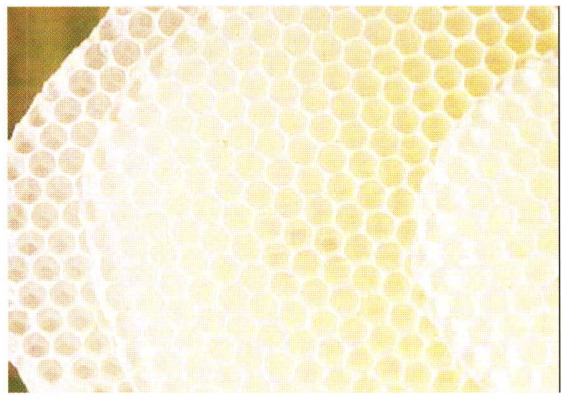
زنبورهای عسل از طریق شاخک‌هایشان می‌توانند حتی کوچک‌ترین تفاوت موجود در ترکیب موم را شناسایی کنند. آن‌ها مجبور به تماس با موم نبوده بلکه بو به تنهایی برای آنها در تشخیص تفاوت بین موم‌ها کافی است.

برای زنبورهای عسل، موم ماده‌ای پر اهمیت است، ردپاهایی از گذشته که اطلاعاتی را در اختیار زنبورها می‌گذارند و به آنها در تعیین جهت در تاریکی کندو کمک می‌کند. از این رو زنبورها ترجیح می دهند که شهد و گرده را در سلول های قدیمی تر ذخیره کنند تا در سلول‌هایی که جدیداً ساخته شده‌اند.

سطح بدن زنبورها، همانند تمام حشرات با لایه‌ای از موم پوشیده می‌شود تا در برابر خشک شدگی از آن‌ها حفاظت کند. این موم کوتیکولی (پوست)، مشابه با موم شان عسل است و منشاء غدد شکمی تولید کننده‌ی موم با منشأ غدد تولیدکننده موم کوتیکولی مشابه می‌باشند.

در تمامی زنبورها ترکیب موم در سطح بدن آنان، مشابه نیست . اجزای موم به لحاظ ژنتیکی نشان می‌دهد که موم کوتیکولی تمام خواهرها در مقایسه با نیمه خواهرها (یعنی کسانی که مادری یکسان ولی پدرهایی متفاوت دارند) شباهت بیشتری دارد. محیط پیرامونی که در آن زنبورها زندگی می کنند، بر ترکیب موم کوتیکولی تأثیر دارد، چرا که لایه‌ی موم موجود در سطح بدن زنبور، عناصری را از موم شان جذب می‌کند. این بو و رایحه منجر به هویت مخصوص کلنی می‌شود و امکان محافظت از کندو را در مقابل ورود بیگانگان به کندو فراهم می‌سازد بطوریکه زنبورهای نگهبان مانع از ورود آن‌ها می‌شوند(تصویر۲۹. ۷).

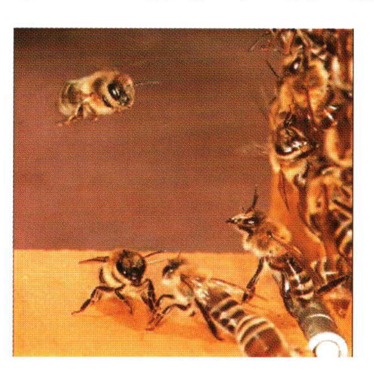




تصویر۲۸-۷: نمایش شان در سن‌های مختلف، شان مسن دارای اجسام خارجی بیشتری است. شان‌هایی با ترکیبات شیمیایی مختلف ممکن است به طور هم زمان در یک کندو یافت شود. (تصویر بالایی شان کهنه و تصویر پائین شان جدید است). این امر به راحتی از طریق رنگ نیز قابل تشخیص است.

اگرچه علت حضور زنبوران بیگانه در کلنی ،عدم کنترل شدید برای در یچه پرواز کندو است. زنبوران بیگانه با دادن رشوه به صورت یک قطره بزرگ شهد به زنبور نگهبان، وارد کندو می‌شوند(تصویر ۳۰ .۷).

زنبورها می‌توانند از ویژگی‌های شیمیایی موم به شکل تغییر نکرده استفاده کنند اما می‌توانند از موم شان هم به عنوان ماده‌ای استفاده کنند که برچسب شیمیایی خودشان را به آن بچسبانند. در نمونه‌ای از چنین مورد، می‌توان به مکان‌های رقص اشاره کرد که در آن زنبورهای رقصنده در آن مکان‌ها فعال هستند.



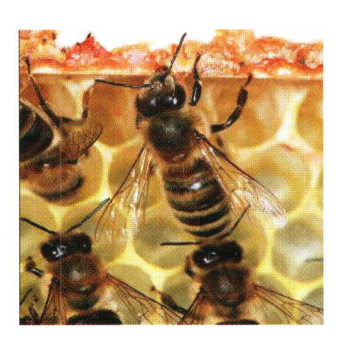
تصویر ۲۹-۷: دو زنبور نگهبان درحالت بازرسی یکدیگر. دو بخش زمین و فضای اطراف کلنی تحت نظارت زنبورهای نگهبان می‌باشد.

در این مکان، تبادل پیام‌های مر بوط به منابع غـذایی در محیطـی در حـدود ۱۰x۱۰ cm، در کندویی با کل محیط شان ۵ متر مربع روی می‌دهد. جستجوگران فعـال، رقـاص‌هـا را در ایـن محل ملاقات کرده و درباره محل منابع غذایی موجـود در مزرعـه اطلاعـاتی کسـب مـی‌کننـد. می‌توان این محل انجام رقص را از محل اصلی آن به دقت بریده و توسط یک تکه موم جدیـد جایگزین نمود. فرض این است که آن محدوده مکان رقص بریده شده، دارای سیگنال شیمیایی باشد. اولین جستجو گر غذا که بعد از جابجایی محل رقص به کنـدو برمـی‌گـردد مسـتقیماً بـه محلی می‌رود که قبل از دستکاری در آنجا بوده است. با این حال در آنجا رقص انجام نداده، اما او برای یافتن محدوده‌ی بریده و جابجا شده جستجو می‌نماید. هنگامی که آن را می‌یابـد، فـوراً شروع به رقصیدن می‌کند و به هنگام بازگشت از گشت بعدی، مستقیماً به محل جدید مـی‌رود. اگر دور جدیدی از جستجوها در روز بعد روی دهد، مجدداً رقص‌ها در موقعیـت اولیـه محـل رقص، اجرا خواهد شد.



تصویر ۳۰-۷: یک زنبور درحال بازجویی(چپ) به زنبورگارد(راست)، یک قطره شهد، به عنوان رشوه، جهت ورود به کندو می‌دهد.

این مشاهدات بیان می‌کند که مکان اجرای رقص حامل نشانگر شیمیایی است. سیگنال در طول شب، زمانی که از کف زمین استفاده نمی‌شود، محو شده و مجدداً در روز بعد از مکان‌های جدیدی استفاده می‌شود. جزئیات شیمیایی این نشانگر ناشناخته است.



تصویر ۳۱-۷: بره‌موم در نقاط مختلف لانه ذخیره می‌شود.

فضای تمیز

موجودات بسیار اندکی همانند زنبورعسل به طور مداوم در تماس مستقیم با یکدیگر، زندگی می‌کنند. این وضعیت همراه با احتمال خطر قابل توجهی برای سوپرارگانیزم‌ها است. فشار انتخابی قوی در ممانعت از گسترش عفونت منجر به راه حل‌های بسیار موثر و خاص زنبورها در پیشگیری و درمان بیماری شده است. شان مومی در خط مقدم دفاع در مقابل عوامل بیماری‌زا، مهم فرض شده و لایه نازکی از بره‌موم که دیواره‌های سلول نوزادی، به دقت پوشانده می‌شود، اهمیت خاصی دارد. بره‌موم دارای ویژگی‌های ضدباکتری و ضدقارچی است و مانع از عفونت‌های باکتریایی و قارچی می‌شود، یا احتمال آن‌ها را کاهش می‌دهد. زنبورها، مقادیر عظیمی از بره‌موم را در درون لانه خود ذخیره نموده تا به هنگام نیاز قابل دسترس باشد(تصویر ۳۱ .۷).

حیوانات بزرگی نظیر موش‌ها یا حیوانات حشره‌خوار که وارد لانه زنبورها شده، بدلیل نیش خوردن از زنبورها در آنجا خواهند مرد و زنبورها نمی‌توانند آنان را از لانه خود خارج نمایند. زنبورها با پوشاندن کل لاشه با بره‌موم، این مشکل را حل می‌کنند و این لاشه مومیایی شده، هیچ تهدیدی برای تولید عفونت در کلنی تلقی نمی‌شود. این رفتار زنبورهای عسل حاکی از ایده مصریان باستان در مورد حفظ اجساد مرده هایشان می‌باشد. مسلماً زنبورهای عسل، موجوداتی بوده‌اند که مومیایی نمودن را انجام داده‌اند.

لانه حفره‌ای

اگر چه زنبورهای عسل می‌توانند داخل خانه هایشان را مرتب و سازماندهی کنند، اما نمی‌توانند حفره‌هایی ایجاد کنند که پناه‌گاهی برای کلنی‌های زنبورها باشد. در این جا، زندگی آن‌ها به آن چه که در محیط موجود و قابل دسترس است، بستگی دارد. در عرض‌های جغرافیایی معتدل معمولاً حفرات درون درختان مسکن مناسبی هستند. شکاف موجود در بین صخره‌ها نیز برای تأسیس لانه قابل توجه است. در مناطقی با کشتزارهای وسیع که حداقل پناهگاه‌ها برای زنبورها وجود دارد، زندگی آنان وابسته به مکان‌های مصنوعی است که انسان برای آنها تأمین نموده زیرا در غیر این صورت آنان نمی‌توانند در زمستان و یا در طوفان‌های تابستانی زنده بمانند.

بچه زنبورهایی که کندو را ترک می‌کنند، باید عجله کنند. تدارک برای سفر که همراه با پرکردن عسلدان‌ها با عسل می‌باشد، محدود بوده و طوفان می تواند برای بچه زنبورهای آویزان از درخت که بدون محافظ و پشتیبان هستند گران تمام شود. بالغ بر ۲۰۰یا ۳۰۰ زنبور دیده بان در جستجوی محلی احتمالی برای تأسیس لانه جدید رفته و هر زنبور موفق که به توده بچه زنبورباز می‌گردد، بر روی سطح آن محل انتخابی(تصویر۳۲ .۷) ، که در آن مسیر و فاصله کد گذاری می‌شود، مانند حرکات اجرا شده در مورد منبع غذا، رقص انجام می‌دهد.

این پیام فقط به تعداد بسیار کمی از زنبورها، در نزدیکی رقاص می‌رسد، چرا که محدوده محل اجرای رقص مملو از زنبور بوده که بدن آنان، هیچ ارتعاشی را انتقال نمی‌دهد و بنابراین زنبورهای مسن جذب نمی‌شوند. ما در اینجا دارای موقعیتی غیرعادی هستیم که برخلاف تشویق افراد برای رهسپار شدن به سوی منابع غذایی، در حالت بچه‌دهی پیام باید به کل کلنی برسد اما این پیام فقط توسط تعداد بسیار کمی از جمعیت، دریافت می‌شود.



تصویر۳۲-۷: یک زنبور دیده‌بان(علامت سفید) یک لانه حفره‌ای مناسب را پیدا کرده و یک رقص ارتعاشات شکمی را در داخل توده بچه کندو انجام می‌دهد. برخلاف لرزشی که در محل اجرای رقص تولید می‌شود در اینجا فقط تعداد کمی از زنبورهای مسن فعال می‌شوند و تنها یک یا دو زنبور متعاقباً شروع به انجام آن می‌کنند.

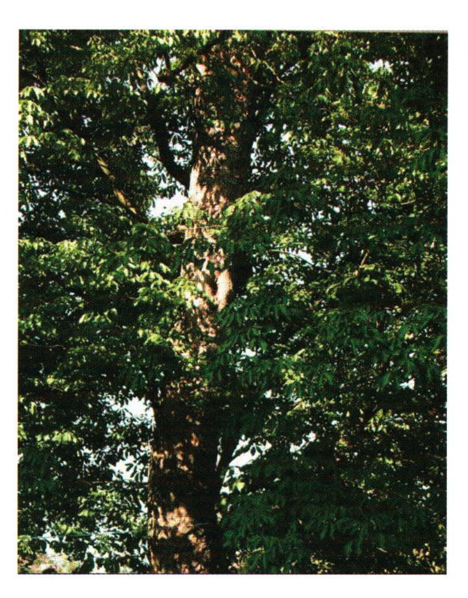
در ابتدا، محل‌های زیادی با پتانسیل لانه‌سازی بالا تبلیغ می‌شود که دیده‌بان معمولاً در حدود ۲۰ آدرس جدید یا بیشتر را شناسایی کرده‌اند. چگونه می‌توان این مناقشه را در مورد محل لانه سازی حل کرد؟ در این جا فقط یک ملکه وجود دارد، از این رو فقط یک آدرس می‌تواند وجود داشته باشد. کدام محل برای کلنی انتخاب می‌شود؟

زنبورها که محل‌هایی متوسط را شناسایی کرده‌اند ساکت و آرام شده و به تدریج تنها افرادی رقص انجام می‌دهند که بهترین مکان لانه‌سازی را انتخاب نموده‌اند. زنبورهایی که در ابتدا، خودشان را ترغیب کرده بودند، اگر مکانی دارای جذابیت کمتری هم باشد به سایرین ملحق شده تا اکثریت را تشکیل دهند.

ویژگی‌های حفره جدید که به نظر می‌رسد بر تصمیم زنبورها تأثیر می‌گذارد، عبارتند از:

- فاصله از خانه قدیمی (نه خیلی دور، نه خیلی نزدیک)
- ابعاد حفره جدید (نه خیلی بزرگ ،بلکه دارای فضای کافی برای توسعه و گسترش در سال‌های بعد)
- ارتفاع حفره از سطح زمین (نه خیلی نزدیک به زمین)
- ساختار ورودی (نه خیلی کوچک، تا امکان فعالیت پروازی پرازدحام وجود داشته باشد، نه خیلی بزرگ،تا به راحتی قابل نگهبانی باشد).
- داخل آن باید خشک باشد.
- جهت جغرافیایی ورودی کلنی (مستقیم به سوی جنوب، ارجحیت دارد، تا از گرمای خورشید و در اوایل بهار بهره گیرد).
- وجود شان‌های قدیمی ساکنان قبلی.

بعد از کشف یک حفره ابعادی که تعیین کننده جذابیت آن خواهد بود، توسط زنبورهای دیده‌بان که به آرامی در حوالی محل پرواز می‌کنند، قضاوت و تصمیم‌گیری می‌شود و درباره درون آن بررسی می‌کنند. ابعاد سطحی که زنبورها در بررسی دیوارهای داخلی صورت می‌دهند، می‌تواندتا ۵۰m یا بیشتر باشد. هیچ گوشه‌ای، نادیده گرفته نمی‌شود و وضعیت دیوارها و حجم حفره برآورد می‌شود.



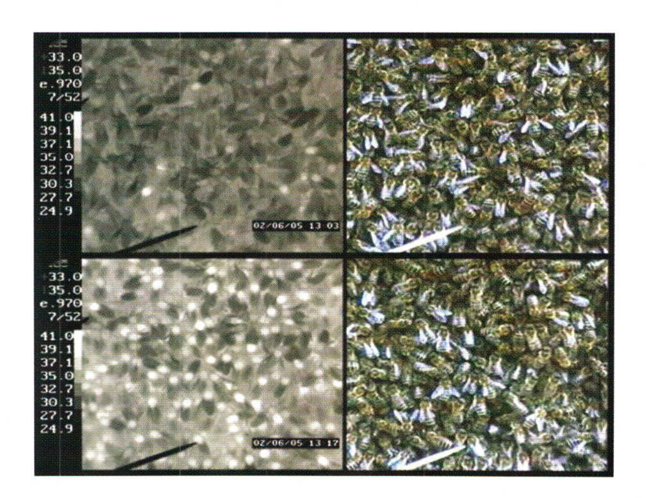
تصویر۳۳-۷: زنبورهای دیده‌بان یک مکان ایده‌آل جهت احداث یک لانه یافته‌اند.

حر کت ۲۰.۰۰۰ زنبور در قالب یک بچه کندو به سوی این نقطه، موضوع ساده‌ای نیست (تصویر۳۳ .۷) و مکانیسم‌های مختلف ارتباطی، موفقیت آن را تضمین می‌کند. گروه نسبتاً کوچک و به تدریج در حال رشد زنبورها، توسط زنبورهایی که محل جدید را کشف کرده‌اند و محل آن را می‌دانند به تدریج شکل گرفته و به سوی این مکان جدید حرکت می‌کنند. این گروه در موارد مطلوب شاید ۵٪از کل بچه کندو را شامل شود. این زنبورها بین ورودی لانه جدید و توده بچه کندو پرواز نموده و بر روی سطح بچه زنبور مکرراً می‌رقصند.حال زنبورها نزدیک به ورودی حفره جدید باقی می‌مانند و در قالب پروازهای مشخص وز وز کنان، در پیرامون آن حلقه می‌زنند در حالی که محل را با فرمون ترشح شده از غددنازانوف شکمی مشخص می‌کنند. این رفتار مشابه با رفتار استفاده شده توسط زنبوران جستجوگر مجرب در تشویق نمودن تازه کارها، نسبت به یک منبع غذایی می‌باشد(فصل ۴).

از آنجایی که بدن زنبورهای موجود در محدوده اجرای رقص، هیچ ارتعاشی را منتقل نکرده و فقط برخی از دنباله روها را جلب می‌کند، عدم توازن عددی بین تعداد کمی از دنباله روها و هزاران آدرس، ایجاد می‌شود . عملاً مشخص است که اکثر زنبورها به خصوص زنبورهایی که در مرکز توده بچه کندو هستند، هیچ ایده‌ای درباره‌ی وقوع رقص در سطح توده را ندارند. از اینرو چگونه می‌توان یک دسته را با وجود تمام زنبورها ی کارگر و ملکه به پیروی از مسیر درست، تحریک کرد؟

به تدریج، تمامی رقصنده‌ها دست از رقصیدن می‌کشند و به سوی مرکز توده حرکت می-کنند. در این جا، آنها مسیر شان را در طول مسیرهای پیچیده سه بعدی از بین انبوه بدن زنبورها می یابند در حالی که تا حد امکان همانند سایر خواهرهای خود سر و صدا ایجاد می‌کنند. این اصوات قوی از طریق ماهیچه‌های پروازی‌شان ایجاد می‌شود و به صورت ارتعاشی به تمامی آن‌ها که باهم تماس دارند منتقل می‌شود . هر زنبور تولیدکننده صدا، شروع به افزایش دمای بدنش می‌کند. در مدت حدوداً ۱۰دقیقه، کل گروه بچه کندو به تدریج شروع به برافروخته شدن می‌کنند(تصویر ۳۴ .۷).

هنگامی که درجه حرارت کل گروه به دمایی در حدود ۳۵ درجه سانتیگراد رسید، به لحاظ لفظی منفجر می‌شود به گونه‌ای که تمامی زنبورها، به طور همزمان در لحظه انفجار توده به هوا پرواز می‌کنند. ابر بزرگی از زنبورهای وزوزکن با چند متر قطر پدیدار می‌شود که شامل زنبورهایی است که به آهستگی در حال تشکیل مسیر دایره‌ای شکل هستند. آنانی که محل هدف را می‌شناسند گروه را هدایت خواهند کرد . به سرعت در یک خط مستقیم در محور طولی ابر و در جهت محوری که نقطه عزیمت گروه را به محل جدید نشان می‌دهد به جلو و عقب پرواز می‌کنند. توده‌ی کروی زنبورهای وزوزکن به تدریج شکلش را به صورت یک نخ سیگار ضخیم تغییر می‌دهد و در مسیر هدف، راهی می‌شوند و توسط پیشگامان به سوی آدرس جدید هدایت می‌شوند. ورود به حفره به لحاظ شیمیایی برای تازه واردها توسط دیده‌بان‌ها و با استفاده از بوی غدد نازانوف شکمی مشخص شده است.



تصویر ۳۴-۷ : تصاویر گرمایی(چپ)، تصاویر ساده(راست) از یک بچه کندو، ۱۵ دقیقه (بالا) و یک دقیقه(پائین) قبل شروع پرواز بچه‌دهی. در تصویر ساده بین این دو گروه زنبور هیچ تفاوتی مشاهده نمی شود، اما در تصویر گرمایی افزایش دما در زنبورهای وزوزکن قابل مشاهده است. میزان بدن زنبوران را می‌توان در ستون سمت چپ خواند.

با رسیدن به محل ورودی لانه جدید، فوراً تولید موم آغاز می‌شود. در صورت لزوم، دیواره‌های داخلی حفره از طریق برداشتن تراشه‌های چوب با قطعات دهانی، صاف می‌شود. در جایی که امکان‌پذیر نباشد، دیوارها با بره‌موم پوشیده می‌شود.منافذی که از آنان، باد وارد کلنی می‌شود با بره‌موم مسدود می‌گردند. هنگامی که همه تکمیل شدند، شان‌های جدید ساخته می‌شوند. یک زندگی جدید آغاز شود

۸ قدرت هوش زنبور عسل

دمای محل پرورش نوزادها یک عامل کنترل شده توسط زنبورها در این محیط خود ساخته بوده که زنبورها توسط این ویژگی بر خصوصیات خواهران خود تأثیر می‌گذارند.

ارگانیزم‌ها در معرض تاثیر نامشخص محیط شان قرار می‌گیرند. دوزیستان از خشکی، پرندگان از فقدان غذا و پروانه‌ها از سرما رنج می‌برند. آزادی در حرکت، احتمال اجتناب از موقعیت های نامطلوب و جستجوی شرایط بهتر را برای اکثر حیوانات فراهم می سازد. دوزیستان، خودشان را در خاک دفن می کنند، پرندگان محل جغرافیایی شان را تغییر می دهند، و در موارد مربوط به پرندگان مهاجر قاره محل زندگی خود را تغییر می دهند؛ پروانه‌ها مکان‌های آفتابی را انتخاب می‌کنند. محیط امکاناتی را فراهم می کند تا حیوانات از میان آن امکانات، بهترین راه حل را انتخاب می کنند. انتخاب، زنده ماندن گونه‌هایی که راه حل مناسب را یافته‌اند تضمین می‌کند. در حالی که گونه‌هایی که چنین اقدامی انجام نداده اند، کاملاً نابود می شوند.

محیط در حقیقت، فقط یک جعبه رنگ نقاشی نیست که موجودات از بین آن؛ یا خوب انتخاب کنند یا متحمل ناراحتی شوند. محیط ها قابل طرح ریزی و ساخته شدن هستند. کرم های خاکی، زیر لایه ای را تشکیل می دهند که در آن از طریق عادات تغذیه و ایجاد سوراخ های زیرزمینی، زندگی می کنند. برگ درختان سایه می اندازد، و بدین ترتیب بر برگ هایی که از زیر آنها جوانه می زند، تاثیر می گذارند.

حیوانات آبزی بواسطه مدفوع‌شان بر میزان اسیدیته برکه‌های محل زندگی خود تأثیرگذار هستند. این گونه تاثیرات بر محیط، اگر خنثی نباشد، با واکنش هایی همراه است که در عوض بر همان حیوانات تاثیر می‌گذارد. غالباً این گونه واکنش ها منفی هستند. اگر آب در برکه های کوچک به واسطه تاثیرات ناشی از حیواناتی که در آن زندگی می کنند، بیش از حد اسیدی شود، حیوانات آلوده را می‌کشد.

اگر موجودات می‌توانستند محیط شان را مطابق با سود و منفعت خودشان طوری تنظیم کنند که شامل اثرات مثبت باشد چه اتفاقی می‌افتاد؟ آیا ویژگی کاملاً جدیدی را به بازی «محیط، موجود زنده و سازگاری»، معرفی نمی کردند؟

و چه می شد اگر محیط شکل گرفته توسط موجودات خصوصیات خود آنان را تعیین می-

نمود و یا تحت تأثیر قرار می‌داد؟ آیا منجر به سیستمی نمی‌شد که در آن علت و معلول و حتی محدودیت‌های مدل کلاسیک محیط موجودات، تیره و محو شود؟

در طول مدت تکامل، یک محیط فعالانه شکل گرفته که خصوصیات آن توسط زندگی موجودات درون آن تعیین شده بود، ژن‌هایی از موجودات که محیط را شکل داده‌اند با محیط زندگی آنها همسو شده و این حالت منجر به ایجاد وحدت و یک پارچگی شده که در آن عناصر با هم، رشد و توسعه می یابند.

این موجودات، خودشان را از بند بردگی محیط ، که باید به منظور بقاء و تولید مثل خودشان را با آن سازگار می نمودند، رها می کردند.

قدم به سوی عدم وابستگی از محیط، توسط انسان ها و نیز توسط زنبورها هم انجام شده است.

در مقام مقایسه، شاید آن چه که توسط زنبورها انجام می شود، به مراتب در مقایسه با اقدامات انسان ها اساسی تر باشد. برای ما، شیوه معمول مطلوب ساختن شرایط محیط به واسطه امکانات ساختمانی تعیین می شود و به محیط طبیعی متداول بستگی دارد. امکان دارد که در مطلوب سازی محیط های کاری و زندگی مان، فقط به احساس راحتی که نیاز فعلی ما را تأمین می‌کند، دست یابیم تا این که حقیقتاً؛ خودمان را در کوتاه مدت یا بلند مدت تغییر دهیم.

در طول ۳۰ میلیون سال تکامل زنبورهای کلنی‌ساز به چیزی دست یافته‌اند که تاکنون به انسان‌ها نشان داده‌اند. آنها می توانند محیط زندگی را به نفع خود شکل دهند.

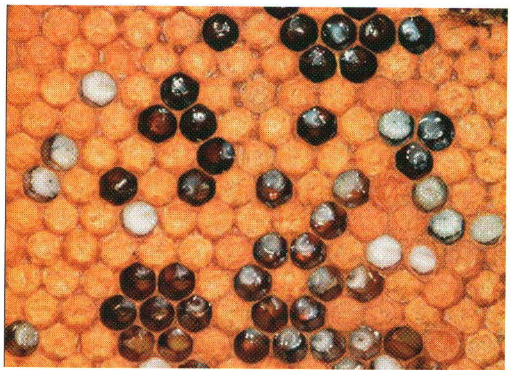
ما به تدریج در حال فهم واکنش ها و تعامل های بسیار پیچیده و فراوان بین زنبورها و محیط تحت کنترل خودشان هستیم. یکی از آخرین پیشرفت‌ها تنظیم دمای محل پرورش نوزادان است که برای بیولوژی زنبورهای عسل، اهمیت زیادی دارد.

زنبورهای داغ و شفیره های گرم

بخش پرورش نوزادهای زنبورهای عسل (تصویر ۱. ۸) بخش بی نهایت مهم و حساس در دنیای زندگی آنهاست که با دقت شگفت انگیزی کنترل می شود، و دمای منطقه ای که حاوی سلول های شفیره درپوشیده است؛ دقیقاً تنظیم می شود.

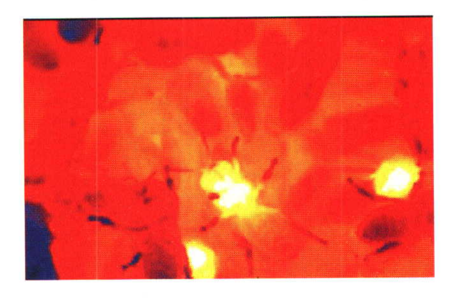
زنبورداران، مدت‌هاست که از گرمای نسبتاً بالای سلول‌های نوزادی زنبورعسل آگاهند که حتی می‌توان با پوست دست آنرا لمس نمود. مدت ها این باور وجود داشت که خود نوزادها دمای بالای متمرکز شده ای را ایجاد می کنند و زنبورها برای گرم کردن خودشان به آنجا می روند. اما مشخص شد که این باور و عقیده، نادرست بوده و با دیدگاه بسیار جالب‌تری از وضعیت بیولوژیکی شرایط اقلیمی درون کلنی زنبورهای عسل، جایگزین عقاید قبلی شد.

استفاده از دوربین حساس به گرما، مخصوصاً همراه با مشاهده رفتاری و دستکاری دقیق کلنی‌های زنبور، دیدگاه های کاملاً جدیدی را ارائه کرده است، پیامدهایی که فراتر از درک کامل هستند.

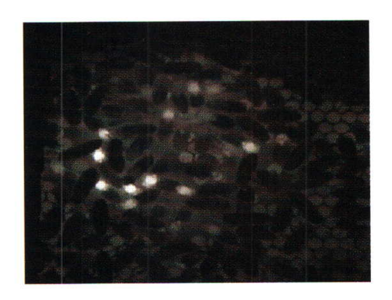


تصویر۱-۸: لانه نوزادهای زنبور عسل، بخشی از شان است که در آن،هر یک از اعضای جدید کلنی به صورت مجزادر طول تکامل خود از لارو ،شفیره تا بلوغ توسط پرستارها مراقبت می شوند.

حیوانات قادرند با متابولیسم مواد غنی از انرژی، نظیر چربی و کربوهیدرات ها، یا از طریق انقباض ماهیچه ای، درست مانند زمانی که ما از سرما می لرزیم، گرما تولید کنند. برخلاف آنچه که برای پرواز استفاده می‌شود و نه همانند آنچه که در فصل چهارم درباره تولید پالس‌های لرزشی در رقص ارتعاشات شکمی مشاهده کردیم، زنبورهای عسل با لرزاندن ماهیچه‌های پروازی خود گرما تولید می‌کنند. گرما از طریق این ماهیچه ها به شیوه ای نسبتاً متفاوت تولید می شود. این ماهیچه‌ها در هنگام لرزش به بال‌ها متصل نبوده و با حرکات رشته‌های ظریف ماهیچه‌ای و با انقباض و انبساط آنان زنبورها ظرفیت متابولیکی ماهیچه‌ها را افزایش داده گرما تولید می‌نمایند. ماهیچه‌ها برخلاف یکدیگر عمل کرده (بدین معنی که یک گروه از ماهیچه‌ها در حالت انقباض و گروه دیگر منبسط هستند) و لرزش ماهیچه ها منجر به ارتعاش آن‌ها می‌شود. این حرکات در مقایسه با حرکات تولید شده توسط زنبورهای رقصنده، بسیار ضعیف‌تر است. در زمان تولید گرما، نتیجه این لرزش و ارتعاش در قالب تصاویر گرفته شده از طریق دوربین حساس به گرما، قابل فهم است (تصویر۲. ۸). بسیاری از حشرات و از جمله زنبوران عسل بواسطه چنین انقباضات ماهیچه‌ای، ماهیچه‌های پروازی خود را گرم نموده و خود را برای پرواز آماده می‌سازند. احتمالاً زنبورانی که قبل از تکامل زنبورعسل کنونی فاقد کلنی بوده و زندگی انفرادی داشته‌اند، دارای چنین توانایی برای کنترل درجه حرارت محوطه زندگی خود بوده‌اند. یکی از مهم ترین نیازهای فیزیولوژیکی پیشرفت زنبورهای عسل در تشکیل کلنی این توانایی وراثت‌پذیر می باشد.



تصویر۲-۸ : تصاویر گرمایی زنبورها با سینه های سفید را نشان می‌دهد که دریک منطقه‌ای از محل پرورش نوزادها که دارای درپوش است جمع شده‌اند مناطق فاقددرپوش حاشیه ای شان به واسطه لبه های تیره دیواره سلول هایشان که خالی از زنبورهای حرارت زا هستند قابل تشخیص‌اند.



تصویر۳-۸ : دراین تصویر نحوه پخش دما در بدن زنبورهای گرماساز قابل مشاهده است. رنگ آمیزی مصنوعی نشان از دماهای کم (آبی) و زیاد (زرد) است. یک منطقه تشکیل شده از ماهیچه های قوی پروازی لرزاننده،مانع از عبور حرارت ، از سینه به شکم شده وآن را به سینه محدود می کند.

تصاویر گرفته شده از طریق دوربین گرمایی از بسیاری از حشرات آماده برای پرواز، نشان می دهد که به عنوان مثال، بیدها قبل از پرواز در یک شب سرد، ماهیچه های پروازی خود را گرم می‌کنند. این چنین گرم کردن ماهیچه‌های پروازی در زنبورهای عسل هم که در حال آماده شدن برای پرواز هستند، روی می دهد و این عملکرد اصلی ، توانایی است که زنبورهای عسل به منظور دست یابی به پایانی بسیار متفاوت، از آن بهره برده‌اند.

در صورت مشاهده شان نوزادی از طریق لنز یک دوربین حرارتی، زنبورهای گرم کن با قفس سینه‌ای با دمای بالا نشان می‌دهد که به وضوح در منطقه سلول‌های نوزادی درپوش‌دار حضور دارند. (تصویر۳ .۸)

این زنبورها قفسه سینه شان را به روی درپوش سلول که در زیر آن‌ها قرار می گیرد فشار داده و گرمای خود را به شفیره های محبوس شده در زیر درپوش سلول، منتقل می کنند. این وضعیت گرمادهی که زنبورانی که حداقل نیمی از ارتفاع بدن آنان پایین‌تر از سایر زنبورهای حاضر در سطح شان است، به آسانی قابل تشخیص است (تصویر۴ .۸) و آنها این حالت را

کاملاً بدون حرکت، تا ۳۰ دقیقه حفظ خواهند کرد. می‌توان این زنبورها را مرده تلقی کند. زیرا شاخک‌های آنان حرکت ننموده اما شاخک‌ها در تماس با درپوش سلول‌ها بوده، و فرض بر این است که دمای درپوش های مومی سلولهای شفیره را اندازه می گیرند، چرا که انتهای شاخک‌ها، حامل بیشترین تجمع گیرنده‌های حساس به گرماست.

باور این که زنبورها در حال استراحت ،خواب یا حتی مرده باشند، بی انصافی بزرگی در مورد آنهاست. آن ها تا حد امکان به اندازه یک زنبورعسل فعال هستند. فقط پرواز شدید می تواند، مطابق با فعالیت انرژی زایی یک زنبور گرمکن عمل نماید.

بعد از حداکثر گذشت ۳۰ دقیقه از تولید گرما که مستلزم رساندن دمای بدن به دمای بالای ۴۳ °C است، حیوانات خسته شده و فعالیت آنان متوقف می‌شود. تا مدت زیادی بعد از آن که زنبور گرمکن فعالیت تولید گرما را به اتمام رساند و آنجا را ترک نمود درپوش سلول شفیره ملتهب خواهد بود(تصویر ۸.۵).

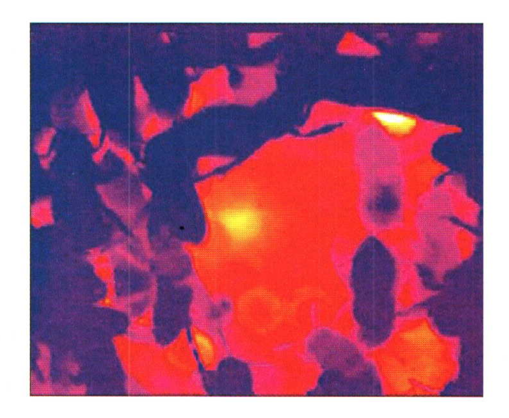
یک زنبور گرمکن فقط می تواند در هر مرحله تنها، یک درپوش سلول شفیره را گرم کند، چرا که ابعاد درب پوشش سلول مشابه اندازه قفس سینه زنبور است.

علم مهندسی گرمایشی، درباره کارآمدی سیستمی که در آن گرما از قفسه سینه زنبور به یک سلول منتقل می شود، متعجب است. زنبورهای گرمکن، نه تنها از پایین به شفیره‌ای که نیاز به گرم کردن دارد بلکه گرما را از تمامی جهات منتشر می‌کند. آن ها گرمای بیشتری را به اطراف و پیرامون در مقایسه با انتقال به سلول هایی که بر آنها تمرکز کرده اند، از دست می‌دهند. این متد گرمایشی، بیشتر شبیه به اتاق یک هتل با پنجره های ناقص و معیوب ،در دوران اسبق نظام سوسیالیستی می باشد که پنجره‌ها تعمیر نمی شدند و گرما فقط افزایش می یافت.

نگاه دقیق تر بر تمام زنبورهایی که در منطقه سلول های نوزاد دارای درپوش هستند، نشان دهنده اقداماتی است که در حقیقت باعث می‌شود اتلاف گرما تا حد امکان،پایین نگه داشته شود (تصاویر ۸.۶ و ۸.۷).



تصویر ۸.۴ یک زنبور گرم کن در یک موقعیت تیپیک گرمایشی در مرکز تصویر دیده می شود. او خود را در مرکز درپوش سلول به پائین فشار داده و بال هایش را به صورت کاملاً بسته نگه داشته و انتهای شاخک او به صورت مستمر در تماس با درپوش سلولی است. زنبورها می توانند، در حالی که اطراف آن ها مملو از افراد متحرک است، به مدت ۳۰ دقیقه بدون حرکت باشند.



تصویر۵. ۸ اگر زنبوری که در حال فشار دادن خود روی یک درپوش سلولی است کمی جابجا شود، دوربین گرمایی یک نقطه داغ را دقیقادر محلی که قفس سینه زنبور قرار داشت را نشان داده که در مرکز تصویر یک منطقه زرد رنگ قابل مشاهده است.

به عنوان مثال زنبورهای غیر گرمایشی به شکل لایه ضخیمی بر روی شان، تجمع نموده و به عنوان یک لایه عایق از دست رفتن گرما به صورت تشعشعی را کاهش می‌دهند.

بعلاوه، زنبورها شیوه موثرتر و مبتکرانه ای را برای گرم کردن نوزادانشان؛ پذیرفته اند که در زیر توضیح داده می شود.

انکوباتور موجود در کلنی

زنبورها همیشه از ناحیه میانی شان پرورش نوزاد را آغاز می‌نمایند.تا زمانی که ملکه به تخم گذاری ادامه می دهد، این منطقه در تمامی جهات، گسترش یافته و سلول ها در طول مرحله پایانی لاروی حشره، با درپوشی بسته می شوند و بدین ترتیب می توانند بدون اختلال تبدیل به شفیره شوند. در منطقه پرورش نوزاد در شان‌های کلنی زنبورعسل، تمامی سلول‌ها کاملاً درب بسته نبوده و در میان آنها در حدود ۱۰ – ۵ سلول خالی در میان سلول‌های درب بسته وجود دارند. این درصد، براساس شرایط و اقلیم محیط خارج از کلنی متفاوت است.

سلول های خالی استفاده نشده در تمام مراحل رشد و نمو نوزادها، یافت می شوند (تصویر۷. ۸). در صورتی که درصد سلول های خالی در شان نوزادها، متجاوز از ۲۰ ٪ تعداد کل سلول‌ها باشد می‌تواند نتیجه حالات غیرمعمول در کلنی باشد، نظیر حضور نامطلوب شمار زیادی از لاروهای دیپلوئیدی زنبورهای نر که کارگرها آن ها را از سلول‌های نوزادی حذف می‌نمایند.

سلول‌های خالی را حتی بعد از آن که ملکه در منطقه‌ای جدید تخمریزی را شروع نمود (تصویر۸. ۸) و متعاقباً بعد از خروج لاروها از تخم (تصویر۹. ۸) قابل مشاهده هستند. این

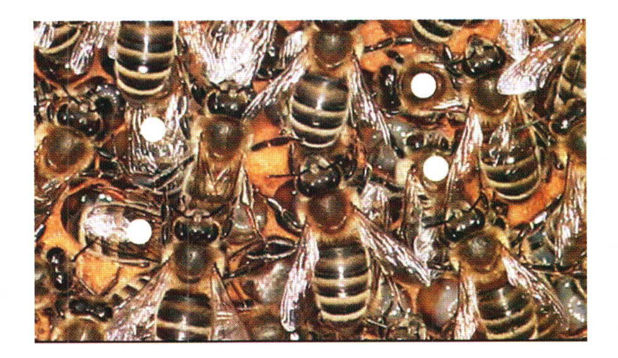
مسئله به لحاظ کارکردی، زمانی جالب است که مشخص می‌شود (تصویر۱۰ .۸)، این سلول های به ظاهر خالی، در حقیقت به ندرت خالی بوده و غالباً توسط زنبورها، در حالی که با سر در آنها قرار گرفته‌اند، اشغال می شوند(تصویر۱۱ .۸).

در ابتدا به این رفتار، «تمیز کردن سلول» یا «استراحت کردن» گفته می‌شد، چرا که تعیین این موضوع که زنبورها در این سلول ها چه کاری انجام می دادند، امکان پذیر نبود.

تمامی این حالات را می توان در زمانی که انتهای شکم زنبورها به سمت خارج سلول قرار گرفته ، و با حرکاتی سریع تلسکوپیک مشاهده کرد. این وضعیت نشان دهنده دوره‌های کوتاهی از فعالیت به همراه دوره‌های طولانی استراحت است. انجام این فعالیت سریع تلسکوپیک بندهای شکمی در سطح سلول‌های نوزادی بسیار متداول بوده و در زمان استراحت کمتر می‌گردد. در صورتی که این سلول‌ها از دیواره جانبی با دقت باز شوند، زنبورانی که در آنها قرار گرفته‌اند و پاهای خود را به سمت بیرون سلول امتداد داده‌اند قابل مشاهده هستند. در مورد شفیره ها، آنها به گونه ای در سلول‌ها می خوابند که سرهایشان روبر به بیرون است ، اما در این وضعیت، سر زنبوران بالغ به سمت داخل است. ظاهر خارجی زنبورها به گونه‌ای است که جدای از حرکات دودی شکم، به نظر می‌رسد که کاملاً در حالت استراحت هستند. دوربین حرارتی متمرکز شده بر روی این زنبورها، تفاوت زیادی را در دمای بدن بین افراد مختلف در سلول ها نشان می‌دهد (تصویر ۱۲ .۸).



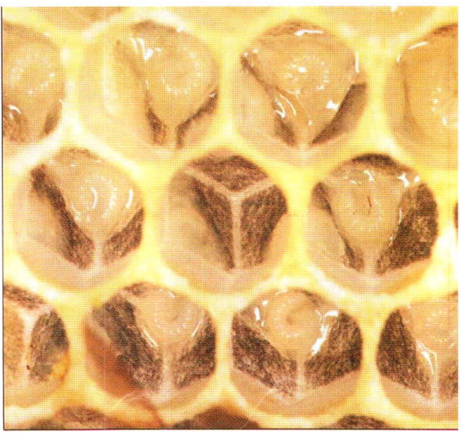
تصویر۶-۸ : اغلب زنبورهادرناحیه ای ازسلول های درپوش دار قرارگرفته اند. زنبور های گرم کنی که بدنشان رابه سمت پائین فشار می‌دهند (چهارزنبور علامت گذاری شده در تصویر۷.۸)، توسط زنبورهای فاقد قدرت ایجاد گرماسازی، همانند یک لایه ایزوله شده و این امر در حفظ گرمای نوزادها موثر می‌باشد.



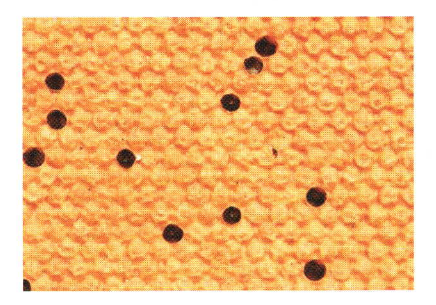
تصویر ۷-۸: یک تصویر بزرگ شده از منطقه علامت گذاری شده موجوددرتصویر۶.۸، چهارزنبورگرم کن قفسه سینه شان رابه سمت پائین جهت انتقال گرمابه سرپوش سلول ها فشار می دهند.



تصویر ۸-۸: ملکه در تمام سلول ها تخم گذاری نمی کند .سلولهای خالی در تمام منطقه ای که ملکه تخم گذاری نموده پراکنده شده‌اند.



تصویر ۹-۸: سلول های خالی در زمانی که لاروهای خارج شده از تخم شروع به رشد می‌کنند نمایان می‌شوند.

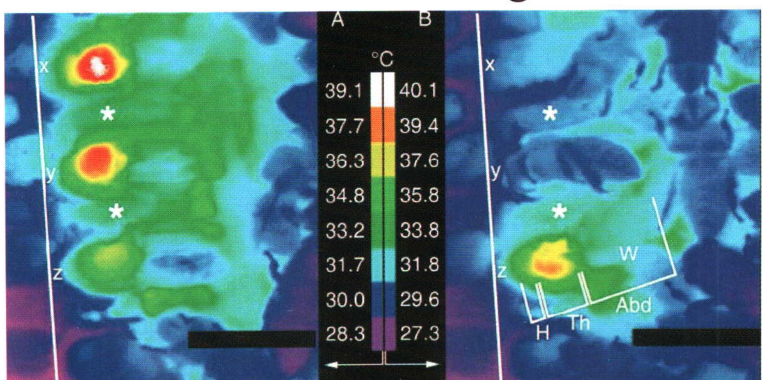


تصویر۱۰-۸: معمولاً ۱۰-۵٪ سلول‌های درپوش دار ناحیه نوزادان خالی بوده و این یک نسبت ایده‌آل،جهت گرم نمودن شفیره ها می‌باشد.



تصویر۱۱-۸: سه زنبور کارگر،در ناحیه سلول های درپوش دار نوزادان با سر به عمق سلول های خالی می روند.

زنبورهایی که به شدت حرکات پمپاژ شکمی را نشان می‌دهند، دارای میانگین دمای قفسه سینه تا ۴۳ درجه سانتیگراد بوده که در مقایسه با زنبورهای در حال استراحت که دمای بدن شان با دمای محیط پیرامون یکسان است بسیار بالاتر می‌باشد. براساس یک عقیده قدیمی زنبورهای در حال استراحت، فقط برای سهم کوچکی از ساکنان سلول، مفید هستند. تمام زنبورهای دیگر نیز، به شکل فعالانه ای در گرم کردن ،نقش دارند. دومین استراتژی گرمایشی در مقایسه با مورد فشردگی بر سطح درپوش سلول، بسیار کارآمدتر و موثرتر است.



تصویر۸.۱۲ : یک تصویر گرمایی از یک منطقه در بخش نوزادها،که در آن سلول ها بصورت طولی برش خورده اند.چهار زنبور گرم کن با دماهای مختلف،ویک زنبور در حال استراحت در دمای محیط(آبی،y در گروه سمت راست)، سلول های بسته را اشغال کرده اند.x،y،وz ،ته شش سلول علامت گذاری شده اند که در آن ها زنبورها خوابیده اند.علامت های ستاره، محل شفیره‌ها را نشان می دهند.ABD شکم،W بال،H سر و TH قفس سینه زنبورها می‌باشد. مقیاس وسط نیز درجه بندی حرارت در دماسنج می‌باشد.

اندازه گیری دمای بدن زنبورها قبل از آن که به سلول ها بخزند، نشان می‌دهد که فقط آن دسته از زنبورهایی که دارای دمای بالای بدن هستند، به درون سلول های خالی لیز می خورند، و خودشان را قبل از ورود به سلول‌ها، آماده می‌کنند. در ابتدا دمای بدن آنها مشابه با هوای کندو بوده، اما قبل از ورود به سلول با سرعت بر سطح شان دویده تا دمای قفسه سینه شان را به میزان مناسبی افزایش دهند. زنبورهایی که از دمای بدنشان کاسته شده بعد از مدت ۳۰-۳ دقیقه سلول ها را ترک می کنند. اقدام در حفظ مداوم دمای بدن در چنین میزان بالایی، نیاز به مصرف میزان زیادی انرژی دارد و منجر به اشغال محدود سلول می شود. ذخایر انرژی بدن زنبورهای عسل، حداکثر بعد از ۳۰ دقیقه تمام می شود. زنبورهای گرمکن حداکثر عملکرد گرمایشی را برای کل مدتی که در سلول صرف می کنند، حفظ نمی کنند.زنبورها در بین مراحل فعالیت تا ۵ دقیقه، مکث کرده تا به بدنشان این فرصت را دهند که دمای خود را تا ۵ درجه سانتی‌گراد، نزول کند، قبل از آن که مجدداً به منظور دست یابی به حداکثر عملکرد گرمایشی، افزایش یابد. این نوع شیب ونوسان دمایی در سیستم کنترل شده ای صورت گرفته و باید در سطح خاصی حفظ شود. کاربرد گرما زمانی متوقف می شود که درجه حرارت از دمای مطلوب فراتر رفته و تولید مجدد گرما زمانی روی می دهد که دما به کمتر از این مقدار، افت کند. این رفتار گرمایشی، کاملاً به کنترل اجتماعی – فیزیولوژیکی شرایط محیطی محل پرورش نوزاداها بستگی دارد(فصل ۱۰).

زنبورهایی که به عنوان گرمکن، مشغول به کار هستند بر خلاف بسیاری از فعالیت های دیگر در زندگی زنبورها متعلق به هیچ گروه سنی خاصی نیستند. جوان ترین زنبورهایی که این وظیفه گرمسازی را به عهده می‌گیرند، ۳ روزه و مسن ترین آن ها ۲۷ روزه هستند.

بوسه های شیرین برای زنبورهای داغ

زنبورها انرژی مورد نیاز تولید گرما را از عسل به دست می آورند. یک کلنی قوی می تواند بالغ بر ۳۰۰kg عسل را در طول تابستان تولید کند؛ اگرچه فقط سهم کوچکی از این عسل را می توان در هر لحظه در کلنی یافت، چرا که میزان جابه جایی بالاست.

عسل در شرایط عادی، برای حفظ عملکردهای بدن زنبورها غذا محسوب نشده بلکه عمدتاً برای گرم کردن نوزادان در فصل تابستان، و برای حفظ خوشه زنبوران در کندو از سرمای منجمد کننده طول زمستان، استفاده می شود. بنابراین سهم عظیمی از عسل اندوخته شده در یک کلنی زنبور غذا نبوده بلکه سوخت می‌باشد. در زیر اطلاعات نسبتاً مهمی در این رابطه می‌آید:

- میزان انرژی یک عسلدان پر از شهد تا ۵۰۰ ژول می باشد.

- میزان انرژی مصرفی توسط یک زنبور جمع‌آوری کننده غذا تا 6.5 ژول در هر کیلومتر می باشد. به دنبال آن، زنبور برای میانگین هر پرواز نیاز به حدوداً ۱۰ ژول انرژی خواهد داشت. بدین ترتیب، زنبورعسل میزان انرژی که از طریق شهد به درون کندو می‌آورد، ۵۰ برابر بیشتر میزان انرژی است که صرف پرورش می‌نمایند.
- هر زنبور جمع‌آوری کننده غذا همراه با عمر متوسط حامل ۵۰ کیلو ژول انرژی به کلنی خود است.
- نیروی جمع‌آوری کننده غذا در یک کلنی در طول تابستان مشتمل بر بیش از ۱۰۰ هزار زنبور است که، شامل چندین میلیون پرواز کاوشگرانه و جستجوگرانه ، و آوردن حدود ۴-۳ میلیون کیلو ژول انرژی به کندو می باشد.
- یک میلی گرم عسل حاوی ۱۲ ژول انرژی شیمیایی بصورت مواد قندی است.با سوختن یک کیلوگرم عسل، ۱۲۰۰۰ کیلو ژول انرژی تولید می‌شود.
- یک زنبور برای دستیابی به عملکرد گرم کنندگی مورد نیاز، جهت افزایش دمای قفسه سینه اش و حفظ آن در حد دمای محیط در تابستان ، تا ^{0}c ۴۰، ۶۵ میلی ژول در هر ثانیه، مصرف می‌کند.
- زنبورعسل گرمکن، عمدتاً با استفاده از قند موجود در همولنف خود بعد از حداکثر مدت ۳۰ دقیقه گرم کردن ۱۲۰ ژول انرژی خواهد سوزاند.
- در طول کل دوره پرورش نوزاد، زنبورهای گرمکن در حدود ۲ میلیون کیلو ژول خواهند سوزاند که بیش از ۲/۳ کل انرژی استفاده شده در تابستان است.
- انرژی گرمایی مورد نیاز برای کنترل دمای سلول‌های پرورش نوزادان، مساوی با مصرف مدام قدرت ۲۰ وات است. اگر زنبورها قادر به انتقال این انرژی به یک لامپ باشند، به وضوح می توانستند دنیای تاریک کلنی خود را روشن کنند.
- همچنین در زمستان ، ۲ میلیون ژول برای گرم کردن خوشه زنبورها در لانه سوخته می شود. یک پنجم ذخیره انرژی باقیمانده که توسط زنبورها در طول تابستان جمع آوری می شود، انرژی سایر فعالیت های آن ها را تامین می کند.

ذخایر عسل در کندو معمولاً در فاصله ای دور از شان نوزادهای گرم شده قرار می گیرد. زنبورهای «سوخت رسان»، به طور مداوم زنبورهای گرمکن را که دور از ذخایرعسل هستند، و به خصوص در طول هوای سرد در جهت ممانعت از هرگونه وقفه در فعالیت‌های تولید گرما، تحت پوشش خود قرار می دهند. این گروه از زنبورها در جستجوی زنبورهای گرمکن هستند و مستقیماً عسل را به دهان خود به صورت «بوسه شیرین» منتقل می کنند. انتقال مستقیم شهد

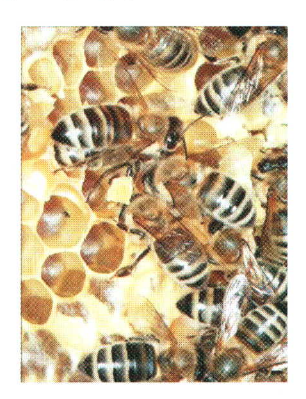
یا عسل از دهان یک زنبور به زنبور دیگر، «trophallaxis» یا تغذیه دهان به دهان نامیده می شود (تصویر۱۳. ۸).

زنبورهای سوخت رسان باید زنبورهای گرمکن خسته را که هنوز اندکی گرما در بدنشان باقی مانده را به همراه گیرنده‌های شاخکی حساس به حرارت خود بیابند. این گیرنده‌های حرارتی مستقر بر روی شاخک افراد سوخت رسان به آنان کمک نموده تا به سهولت زنبوران تولید کننده گرما را در محوطه تاریک کندو پیدا نمایند. برخلاف عسل نارس یا فقط شهد که با میزان قابل توجهی بین زنبورهای کندو مبادله می‌شود، عسل بسیار غلیظ با حداکثر میزان انرژی بین اعضای این کندو جابجا می گردد.

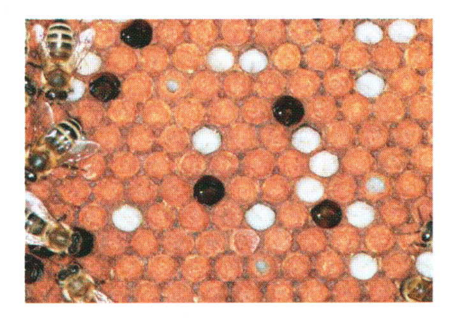


تصویر۱۳-۸: یک زنبور(پائینی)، قطره‌ای از عسل با کیفیت را به یک زنبور گرم کن خسته (بالایی) می دهد.

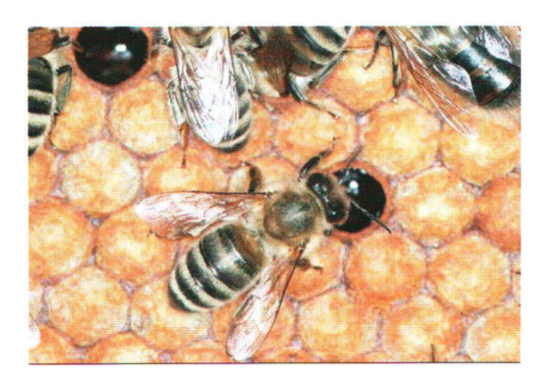
زنبورهای سوخت رسان از سلولهای عسل باز یا از قبل درپوش دار شده، بارگیری کرده (تصویر۱۴ .۸) ، سپس به جستجوی زنبورهایی که نیاز به انرژی دارند، می روند. درجه حرارت بالای منطقه پرورش نوزاد باعث ارتقاء این رفتار شده و توجیه بیولوژی آن این است که دمای بالای هوا در منطقه نوزادها ناشی از فعالیت بیش از حد زنبورهای گرمکن است، که متقابلاً بعد از اتمام وظیفه شان گرسنه می شوند. در منطقه پرورش نوزادان شرایط تهیه غذا برای افراد گرسنه نیز وجود دارد. سلول های خالی مابین سلول‌های درب بسته نوزادی، غالباً به عنوان انبار استفاده شده که با شهد(و یا عسل) پر (تصویر۱۵ .۸) و در طول مدت کوتاهی، مجدداً خالی می‌گردند. علی‌رغم بسته‌های انرژی با کیفیت بالا که از طریق عسل رسیده فراهم شده و از دهان به دهان منتقل می‌شوند، این سلول‌ها به عنوان فروشگاه‌های محلی برای زنبورهای طالب انرژی عمل می‌کنند.



تصویر۱۴-۸: زنبورهایی که وظیفه تامین و شارژ مجدد زنبورهای گرم کن را بعهده دارند ،در تصویر آن ها را در حال باز کردن سلول های عسل مشاهده می‌کنیم.



تصویر۱۵-۸: شهد ذخیره شده در لانه نوزادها



تصویر۱۶-۸: زنبورهای گرم کن در زمانی که انبار شهد نوزادها در دسترس آنان باشد ازآن مصرف می کنند.این چنین سلول هایی برای مدت کوتاهی خالی مانده و صرفا دارای میزان شهد اندکی بوده و فاقد عسل هستند.

میزان تلفیق درست سلول‌های خالی گرم کننده در بین نوزادها، سلول‌های پر شده از عسل و نیز زنبورهای سوخت رسان تحت تأثیر دمای محیط پیرامون است . اگر این وضعیت برای مدت طولانی دوام آورد، بسیاری از سلول‌های خالی، برای گرما سازی استفاده شده و اگر برای

مدتی، تعداد آن‌ها زیاد باشند از سلول‌های اضافی برای گرم کردن استفاده نشده، بلکه به عنوان انبارهای موقتی شهد، استفاده می شوند(تصویر۱۶ .۸)

زنبورهایی که به شکل فعالانه، گرما تولید نمی‌کنند، لایه زنده ای را بر بالای شان تشکیل داده و از طریق ایجاد لایه‌ای عایق مانند، منفعلانه در تنظیم دمای شان، سهیم می شوند. این نوع عایق کاری هم درکاهش اتلاف گرمای درونی کلنی و هم در محافظت در مقابل گرمای بیش از حد بیرون نقشی را بر عهده دارند.

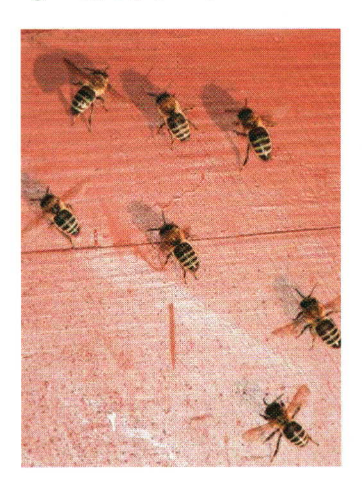
زنبورها به منظور حفظ شفیره ها در دمای مطلوب، نه تنها باید گرما تولید کنند بلکه باید خنک کننده هم باشند. در اروپای مرکزی، خنک کردن به شکل قابل توجهی کمتر از گرم کردن مورد نیاز است. اما حتی یک موج کوچک گرما هم می تواند به نوزادهای حساس، آسیب برساند.



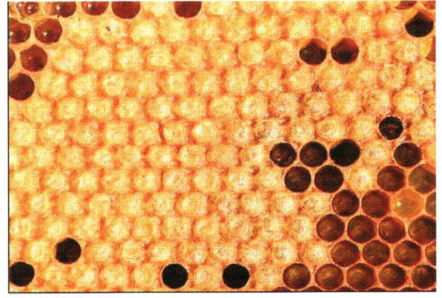
تصویر۱۷-۸: زنبورها در صورت گرم شدن بیش از حد کندو،برای آب جستجو کرده وآن را به صورت قطره های کوچک در آورده و در نهایت به صورت یک پرده نازک بر سطح کندو قرار می دهند.



تصویر۱۸-۸ : یک زنبور جمع کننده آب در حال گسترش یک پرده نازک از آب است.در اثر این عمل یک تهویه مطلوب ایجاد می شود.به واسطه جریان هوایی که با بال خود ایجاد می کند،موجب خنک شدن سطح می‌شود.



تصویر۱۹-۸: در صورتی که یک هوادهی عمومی در کندو نیاز باشد،زنبورها خودشان را به صورت یک زنجیره تهویه گر در مقابل کندو قرار داده و هوای گرم درون کلنی، که حاوی مقدار زیادی دی اکسیدکربن است را، به بیرون از کندو هدایت می‌کنند.



تصویر۲۰-۸: تعدادی از شفیره‌ها که در محل پرورش نوزادها نزدیک سلول های خالی قابل مشاهده‌اند. عمدتاً یک زنبور گرم کن طویل‌ترین سلول را در نزدیکی شفیره اشغال می‌کند.

متد استفاده شده برای خنک سازی مشابه با متد استفاده شده توسط انسان‌ها در دستگاه‌های خنک کننده- تبخیری می باشد.

در روزهای داغ و سوزان، کارگرهای متخصص، آب را از زمین مرطوب و همچنین از لبه برکه‌های باز و آبراه ها جمع آوری می کنند (تصویر۱۷. ۸).

آن ها این آب را به کندو، حمل کرده، و آن را به صورت نوار نازکی بر کناره‌ها یا درپوش سلول ها، پخش می کنند. Martin Lindaure (از ۱۹۱۸ تا کنون) محقق مشهور در زمینه زنبورها، در طول ۵۰ سال گذشته، تشخیص داد که زنبورها، هوای منطقه‌ای از کندو را با بالهای خود تهویه می‌کنند (تصویر۱۸ .۸). بدین ترتیب که جریان هوای ایجاد شده از طریق این «بال زدن‌های ساکن» رطوبت را تبخیر نموده و باعث کاهش دمای کندو می شود. زنبورهایی که یا

مستقیماً بر روی شان می‌نشینند یا در ورودی کندو هستند، باعث ایجاد این جریان های هوا می شوند.

زنبورهای تهویه گر، خودشان را در قالب یک برنامه ریزی هوشمند ، مرتب کرده و در صورت نیاز گروه‌های کوچک تهویه‌گر با یکدیگر متحد شده تا بطور کارآمدتر تمامی محوطه کندو را تهویه کنند(تصویر۱۹. ۸).

دمای بدن زنبورهای گرم کن و مدت زمانی که آن ها در سلول ها سپری می کنند، سطح دمای منطقه نوزادها را تعیین می کند. هر دو این موارد به ساخت محیطی در پیرامون یک سلول خالی، بستگی دارد.

یک سلول خالی فقط زمانی برای گرمسازی استفاده می شود که حداقل مجاور یک سلول شفیره باشد، و در این گونه موارد زنبور گرم کن دارای میانگین دمای c˚ ۳۳ خواهد بود. زنبورهای گرم کن در صورتی دمای بدنشان را تا c ˚ ۴۱ افزایش می دهند که یک سلول خالی از طریق حداکثر شش سلول شفیره درب بسته احاطه شود. دمای متوسط زمانی به کار گرفته می‌شود که سلول های خالی به دو تا پنج سلول شفیره محدود شوند.

رابطه واضح و آشکاری هم بین سلول های مجاور و طول مدتی که برای گرم کردن یک سلول اشغال شده وجود دارد . سلول هایی که در مجاورت ۶ یا ۵ سلول شفیره درپوش دار هستند، توسط زنبورهای گرم کن برای تمام مدت (۱۰۰ درصد طول دوره گرمادهی)، اشغال می شوند، به گونه ای که زنبورهای خسته شده فوراً با زنبورهای تازه نفس گرم کن، عوض می شوند.

سلول هایی که فقط در کنار یک سلول شفیره قرار می گیرند، در طول فقط ۱۰٪ از هر دوره ، اشغال مشاهده می شوند درحالیکه زنبورهایی که در مجاورت سه سلول درپوش دار هستند ،در ۷۰ ٪ زمان ها حاوی زنبورهای گرم کن می‌باشند(تصویر۲۰ .۸).

خواهرهای«نارس» یا «ژنتیک، همه چیز نیست»

در عسل، بخش زیادی از انرژی ناشی از پیوندهای با انرژی بالای قند موجود در شهد گیاهان، تبدیل به گرما می شود (تصویر۲۱ .۸). در این حالت اتلاف غیر قابل اجتنابی که همراه با تبدیل و انتقال انرژی باشددر کار نیست، بلکه در این جا عسل با هدف آزاد سازی انرژی گرمایی، متابولیزه می‌شود.

دلیل اصلی این سرمایه گذاری عظیم در تلاش و زمان، که در بسیاری از نواحی بیولوژی زنبورها مورد توجه واقع می شود، چیست؟

دو توضیح احتمالی را برای دمای بالای محل پرورش نوزادهای زنبور عسل، می‌توان مد

نظر قرار داد:

- اولین پیشنهاد: بعد از فصل زمستان،دمای بالای سلول‌های نوزادی، زنبورها را قادر به عملکرد سریع در بهار می نماید و از این رو قبل از رقبایشان، از اولین منابع گل گیاهان، استفاده می کنند. براساس این فرضیه، بالا بودن دمای سلول‌های نوزادی و زمان رشد کوتاه‌تر باعث خواهد شد تا جمعیت کلنی سریع‌تر افزایش یابد. با این وجود، در هر کلنی در طول فصل تولید مثل، زنبورهای جوان به طور مداوم تولید می شوند. اما نسل‌های واقعی حقیقتاً بدنبال یکدیگر تولید نشده بلکه از لحاظ زمانی با یکدیگر همپوشانی دارند. گرچه رشد زنبورها ۱ یا ۲ روز کمتر یا بیشتر طول می‌کشد اما جایگزینی متوالی جمعیت در تمامی کلنی‌ها یکسان است. در مقایسه با دمای c° ۳۵ محل پرورش نوزادها، دمای c° ۳۲ سلول‌های نوزادی که در آن نوزادهای کاملاً عادی، تولید می‌شوند، امکان صرفه جویی قابل توجهی در انرژی را فراهم می آورد. از این رو، چرا دمای سلول‌های نوزادی، اینقدر بالاست؟

ملکه؛ به مراتب کوتاه ترین زمان رشد را دارا است. دوره شفیرگی او به طور میانگین ۵ روز طول می کشد که همین زمان برای کارگرها ۱۳-۱۰ روز است. آیا دمای سلول ملکه به مراتب بالاتر از دمای سلول کارگرها است؟ به هیچ وجه. اندازه گیری دما نشان داده است که دمای سلول ملکه c° ۳۵ است، که از طریق زنبورهایی که در اطراف آن جمع می شوند، این گرما ایجاد می شود.

یک رابطه مثبت بین مدت رشد و نمو دمای دوران شفیرگی وجود دارد. این رابطه را می توان برای تمام حشره ها نشان داد که دارای پایه و اساس بیوشیمیایی است. اگرچه همان گونه که در بالا توضیح داده شد، بعید به نظر می‌رسد که این موضوع زنبورعسل را مجبور به تکامل گرمایشی کرده باشد.



تصویر۲۱-۸: در بیان دقیق، نباید گل ها را مکان تغذیه زنبورها تلقی کرده،و شهد جمع آوری شده را، محصول تغذیه آن ها بدانیم.در عوض باید آن رابه عنوان منبع انرژی در نظر گرفت،و زنبور های حمل کننده آن ها به کندو را به عنوان صاحبان انرژی کندو محسوب کنیم. عسل تولید شده در کندو، در واقع محصولی پالایش شده از مواد خام می‌باشد.

دومین پیشنهاد برای استفاده از توانایی گرم کنندگی زنبورها، به خصوص در مناطق دارای اقلیم معتدل، متقاعد کننده تر است: ابتدا زنبورها در نواحی گرمسیری، پدیدار شده اند، و به همراه پرورش نوزاد در دماهای بالا وثابت، رشد کردند. سازگاری اولیه زنبورها با یک سیستم کامل و عالی گرم کنندگی، آن ها را به خوبی برای نفوذ به عرض های جغرافیایی معتدل، با زمستان های سخت ، آماده کرده است. در این مناطق زنبورها تلاش نموده تا دمای سطح بیرونی لایه خوشه زمستانه به پایین‌تر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد تقلیل نیابد. این محدوده دمایی است که در کمتر از آن، زنبورها به مدت طولانی قادر به حرکت نیستند. از این رو پرورش نوزادهای جوان در همان ابتدای سال در پناهگاه کلنی و خوشه زمستانی می‌توانند آغاز شود.

دومین پیشنهاد، در برابر این سوال که چرا دمای دوران شفیرگی به شکل بسیار دقیقی در مناطق گرمسیری تنظیم می شود، پاسخگو نیست. برای کنترل و دمای شفیره در این مناطق، خنک‌سازی در مقایسه با گرم کردن، بسیار مشکل تر است. زنبورهای گرمسیری، در اقلیم‌های گرم متقابلاً به انرژی کمتری نیاز دارند، که به معنای عسل و ذخیره سازی کمتر است.

مطالعه توضیح داده شده در زیر، در مورد ویژگی ها و مشخصات زنبورهای عسل که به عنوان شفیره در دماهای مختلف رشد کردند؛ دیدگاه هایی را در مورد اهمیت گرم کردن گروهی زنبورهای عسل ارائه کرده است.

قبل از دستکاری دمای شفیره ها، تعیین رژیم گرمایی پایدار و منظمی که شفیره ها در سلول‌های نوزادها در معرض آن قرار می گیرند، لازم و ضروری است.

ترموکوپل های کوچکی را ، بدون آن که به شفیره ها آسیب برسانند، در سلول های درپوش دار نصب کرده ، و سه نتیجه جالب زیر بدست آمد:

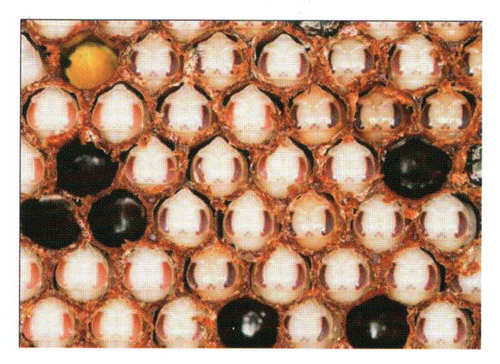
- دماهای حقیقی در محل طبیعی پرورش نوزاد، دریک طیف خاصی ثابت بوده، اما میانگین این خصوصیت در بسیاری از سلول‌ها، نسبتاً متفاوت است. طول مدت تغییرات بسیار تدریجی دما، بین ۳۰دقیقه و یک ساعت است. دامنه نوسانات دما نیز یک درجه سانتی‌گراد بالاتر و پایین‌تر از میانگین (میانگین± ۱ درجه سانتیگراد) است.
- میانگین دمای شفیره ها در طول زمان برای هر یک از شفیره هایی که مشاهده شد، ثابت است.
- میانگین دمای تک تک شفیره ها دارای اختلافی در حد چند درجه سانتیگراد است. این میانگین دمائی بین ۳۳ تا ۳۶ درجه سانتیگراد متغیر است.
- وضعیت تغییرات و نوسانات بطئی دما در تمام سلول های شفیرگی یکسان نبوده، درحالیکه دمای کل منطقه پرورش نوزاد ثابت است و به یک اندازه تغییر می نماید. در عوض، ممکن است دمای یک سلول شفیره افزایش یابد. در حالی که دمای شفیره در سلول مجاور آن

افت خواهد کرد.

به طور خلاصه، شفیره زنبور کارگر در زنبورهای عسل (تصویر۲۲ .۸)، هر کدام بطور جداگانه عملیات گرمایشی متفاوتی را از سوی زنبورهای گرم کن دریافت می کنند.

آیا این عملکردها برای شفیره‌ها نتایجی در بر دارد؟

مدت زمان دوره شفیرگی زنبورهای عسل، در حدود ۹ روز برای کارگران، ۱۰ روز برای زنبورهای عسل نر و ۶ روز برای ملکه می‌باشد. در این زمان زنبور از حالت لارو به شکل بالغ تبدیل می شود. مشخصات ضروری زنبور بالغ، در طول این دگردیسی تعیین می شود. در مقایسه با بسیاری از حشرات با مکان‌های خاص اکولوژیکی سازگار می شوند، زنبورهای عسل نمونه نوعی از حشرات بوده که کمتر از شکل اولیه کلی خود منحرف می‌شوند.



تصویر۲۲-۸: شفیره‌ها در درون سلول‌های خود به صورت کاملاً منظم قرار گرفته‌اند.



تصویر۲۳-۸: زنبور عسل، در اصل، قادر به انجام هر گونه وظیفه ای که در کندو انجام می شود ،می باشد.کیفیت وفراوانی انجام این و ظایف در کندو بسیار متفاوت می باشد.کار های اختصاصی همانند هوادهی ،غلیظ کردن عسل،تبخیر آب جهت خنک کردن کندو و تهویه هوای محل پرورش نوزادها در زمان تجمع گاز دی اکسید کربن، در زمانی انجام می شوند که کندو به آن ها نیاز داشته باشد.

شکل پذیری رفتاری، ویژگی متمایز کننده ای است که برای زنبورها، بسیار شاخص است. در طول زندگی زنبورهای کارگر زنجیره‌ای از مهارت‌های مختلف را انجام می‌دهند که بستگی به سن آن ها دارد. فهرست طویلی از مهارت‌هایی وجود دارد که زنبورها در کلنی، به عهده می‌گیرند. این مهارت‌ها به ترتیبی که زنبورها انجام می‌دهند عبارتند از: تمیز کردن سلول، بستن درب سلول‌های نوزادی، توجه و مراقبت از نوزادها، خدمت به عنوان ندیمه ملکه، دریافت شهد، تولید عسل، برداشتن و دور ریختن مواد خرد و ریز، بسته بندی گرده، ساخت شان مومی، تهویه هوا، حفاظت از ورودی و جستجو و کاوش غذا می باشد. مطالعات رفتاری با بهره برداری از تکنولوژی می توانند بر روی رفتار تک تک افراد زنبورها متمرکز شده و زنبورهای گرم کن، زنبورهای سوخت رسان مسئول تهیه انرژی و حامی زنبوران گرم کن را به فهرست مهارت ها اضافه کنند. (تصاویر۲۳ .۸ - ۲۶. ۸).

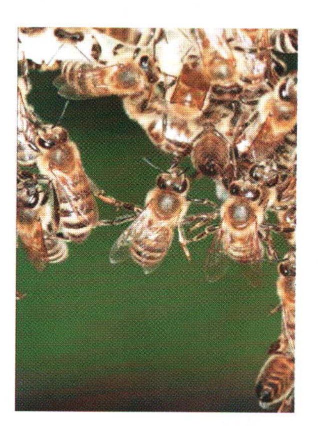
فعالیت های متفاوت نیاز به رفتاری بسیار متفاوت دارد، و رفتار از طریق سیستم عصبی، تعیین می شود. از این رو سیستم عصبی زنبورهای عسل باید دارای ظرفیت بسیار پیشرفته ای برای تغییر باشد.بر خلاف سایر حشرات، مقدار هورمون جوانی با افزایش سن زنبورها، افزایش می‌یابد. همان گونه که از نام آن فهمیده می‌شود، معمولاً میزان هورمون جوانی در حشرات جوان، در بالاترین سطح بوده و در طول زندگی بالغین، کاهش می‌یابد. میزان در حال افزایش هورمون جوانی در طول زندگی بالغین زنبورها، ممکن است دلیل این مسئله باشد که زنبورهای مسن‌تر جستجوگر غذا در مقایسه با زنبورهای جوان کندو، بهتر توانایی یادگیری را دارند. زنبورها، افراد مسن‌تر را به دنیای ناشناس برای مقابله با وظایف خطرناک و دشوار خارج از کندو می‌فرستند.

تصویر ۲۴-۸: گرده توسط زنبورهای چرارو حمل می شود. تنها حدود ۵٪ از زنبورهای حمل کننده غذا،هم گرده وهم عسل را به لانه باز می گردانند.

هر یک از زنبورها، همیشه در تمام مسئولیت های فهرست شده فوق‌الذکر، شرکت نمی‌کنند. به عنوان مثال، فقط تعداد کمی از زنبورها ندیمه ملکه بوده و یا حفاظت و نگهبانی از ورودی لانه را انجام می‌دهند. زنبورهایی که متخصص انجام دادن وظیفه خاصی هستند، غالباً آن را انجام می دهند و زمانیکه نیاز به انجام آن وظیفه خاص برسد حساسیت بالای آنانباعث تحریک به انجام آن وظیفه می شود. افراد بسیار حساس، حتی به محرک های ضعیف هم واکنش نشان خواهند داد؛ زنبورهای غیرحساس، فقط به محرک بسیار قوی واکنش داده و متقابلاً کمتر فعال هستند (فصل ۱۰).



تصویر ۲۵-۸: زنبورهای محافظ مانع از ورود زنبورهای دیگر کلنی ها وتمام مزاحمان به کندو شده و بیگانه هایی که وارد کندو شده اند را تعقیب می‌کنند.



تصویر ۲۶-۸: در زمان ساخت شان،زنبورها تشکیل زنجیره زندگی داده،که عمل آن کاملا نامشخص است.

می‌توان برای فراوانی زنبورهای خاصی که در فعالیت‌های گوناگون شرکت دارند و سن و محیط اجتماعی که در تعیین وظیفه حقیقی آنها نقش اولیه را دارند، فهرستی تهیه نمود. در این جا، مولفه ژنتیک همچنین نقش ایفا می‌کند، اما دمایی که شفیره‌ها در آن رشد یافته و به زنبور

بالغ تبدیل شده‌اند در مقایسه با نقش مستقیم ژنتیک، تأثیر بیشتری داشته است. از آنجائیکه شرایط اقلیمی کلنی از طریق زنبورهای گرمکن، که رفتار و گرایش ژنتیکی شان تحت شرایطی که رشد کرده اند، تعیین می شود، کنترل می‌شود، فعل و انفعال بسیار پیچیده ما بین محیط و ژنوم قابلیت سازگاری در سطح بالا را در اختیار کلنی می‌گذارد.

پرورش مصنوعی شفیره های زنبور در دماهای مختلفی نشان داده است که فراوانی فعالیت های رفتاری ویژه را که زنبوران به عهده می‌گیرند به دمایی بستگی دارد که در آن رشد یافته‌اند. زنبورهایی که از شفیره‌های سردتر، پدیدار می شوند، اساساً وظایفی را به عهده می گیرند که متفاوت از زنبورهای رشد یافته از شفیره های رشد یافته در دماهای گرمتر هستند. تبادل اطلاعات یکی از مهمترین اصول موفقیت یک کلنی در فعالیت جمع‌آوری غذا می باشد و زنبورانی می توانند به افرادی که در درجه حرارت نزدیک به ۳۶ درجه سانتیگراد رشد یافته اند پیام خود را با دقت فراوان منتقل کنند. این

گروه از زنبورها که در این دما رشد یافته‌اند، دارای قابلیت‌های یادگیری بهتر و هم حافظه بهتر در مقایسه با خواهران خود که در دماهای سردتر رشد یافته هستند.

دمایی که زنبورها در آن رشد می کنند همچنین بر طول عمرشان هم تاثیر دارد. معمولاً زنبوران بالغ جستجوگر غذا در حدود ۴ هفته زنده می‌مانند و زنبوردارها آن ها را زنبورهای تابستانی می نامند. افرادی که در طول زمستان زنده می‌مانند (زنبورهای زمستانی) و مجدداً در فصل بعد به عنوان جوینده ی غذا، فعال گشته، می‌توانند تا ۱۲ ماه زندگی کنند. این احتمال بیشتر است که شفیره های رشد کرده در دماهای پایین‌تر سلول‌های نوزادی، تبدیل به زنبورهای زمستانی شوند.

براساس نتایج بدست آمده از بسیاری از آزمایش‌ها تأثیر دما بر دگردیسی در سایر حشرات نیز ،مشخص شده است. آن چه که در مورد زنبورهای عسل منحصر به فرداست این است که خودشان دمایی را که خواهرهای آنان در آن رشد خواهد کرد را تعیین می‌کنند. این حقیقت قدیمی بیولوژیک، که محیط و ژنوم همراه با هم، ویژگی‌های موجود زنده را تعیین می‌کنند، در اینجا توسط زنبورهای عسل، در بهره‌برداری از بازتاب مستقیم بین این دو نیروهای شکل دهنده، گسترش می‌یابد.

۹ روابط ژنتیکی بین اعضای کلنی

روابط بسته خانوادگی موجود در یک کندوی زنبور ،یک نتیجه است، نه دلیلی برای تشکیل یک کلنی.

ایجاد شکل اجتماعی کلنی زنبورعسل، به عنوان پیچیده ترین و بالاترین سطح سازمانی قابل پیش‌بینی در دنیای موجودات زنده، مرحله‌ای از تکامل بوده است، این سوال که چه زمانی این مرحله، روی داده است، تقریبا به سوالی مربوط می‌شود که تحت آن شرایط، چنین توسعه و پیشرفتی، می توانست به وقوع بپیوندد. براساس پیش‌بینی نظری، در صورت عدم وجود شرایط مناسب، تکامل روی نخواهد داد. میزان جهش تکاملی، جهت رسیدن به یک سوپرارگانیزم با شانس وقوع «پیش نیازهای فنی» مرتبط بوده که این پیش نیازها برای پیدایش این شکل از زندگی مناسب بوده‌اند. به منظور فراهم آوردن یک مقایسه و شباهت: انسان مدت‌ها درباره آن، نظریه پردازی نمود و آرزو داشت که تا قبل از عملی کردن آن، پرواز کند. مرحله پایانی، فقط زمانی امکان پذیر بود که مواد و مصالح مورد نیاز برای ساخت یک ماشین عملیاتی پرواز، مونتاژ شده باشد.

اما چه شرایط فنی برای خلق یک کلنی زنبورعسل لازم هستند؟ زنبورهای عسل چه چیزی دارند که موجودات غیر سوپر ارگانیزم همانند سنجاقک ها و یا سوسک ها ندارند؟

چارلز داروین (۱۸۸۲ -۱۸۰۹)، زیست شناس بزرگ در زمینه تکامل، این تئوری را که پیدایش زنبورهای عسل به صورت کلنی غیرقابل اجتناب باشد را قبول نداشت در عوض، او وجود زنبورعسل را تهدیدی بر کل تئوری تکامل خود می‌دانست.

بر اساس پیشنهاد او، اولین شرط تکامل، این است که تعداد زاد و ولدها، بیشتر از تعداد مورد نیاز برای حفظ جمعیت در یک سطح پایدار باشد. تنها زمانی که تعداد فرزندان کافی و دربردارنده تنوع باشد، مرحله بعدی انتخاب، می تواند روی دهد. زنبورهای عسل، داروین را با موجودی روبرو کرد که در آن، تمام ماده های حاضر در کلنی، به جز ملکه، هیچ نوع زاد و ولدی ندارند. او در کتابش تحت عنوان «منشاء گونه ها»، می‌نویسد که کارگران زنبورعسل به سختی در نظریه او گنجانده می‌شوند. آن‌ها به لحاظ شکل و رفتار از نرها (زنبورعسل های نر) و ماده‌های مولد (ملکه‌ها) متفاوت هستند، اما احتمالا نمی توانند این اختلافات در مشخصه و

ویژگی را به نسل بعد منتقل کنند، چرا که آنها عقیم هستند. اما آنها به وضوح این کار را انجام می‌دهند. پس چگونه این کار را انجام می‌دهند؟

داروین راه حلی یافت که این مشکلات چالش برانگیز را حل کرد. اگر فردی بپذیرد که انتخاب، نه تنها بر روی فرد، بلکه بر روی کل کلنی می‌تواند اثر گذار باشد آنگاه از مشکل ذکر شده می تواند تا حد معنی داری کاسته شود. از این نقطه نظر، تمام کلنی های مادری به خاطر تعداد بیشتری از کلنی های دختری تولید شده، رقابت می کردند نه به خاطر تک تک زنبورها.

در حال حاضر بیولوژی تکاملی مدرن، شامل جنبه ای از تکامل کلنی باتوجه به انتخاب گروهی است (نه انتخاب فردی).

به احتمال زیاد، داروین از مفهوم «اجتماعی» کلنی زنبور به عنوان یک موجودیت تلفیق شده، که توسط پرورش دهندگان آلمانی زنبورعسل بیان شده بود، آگاه بود. متعاقباً، این موجودات (اجتماعی) در رقابت با همسانان خود بودند، به همان شیوه‌ای که موجودات انفرادی هستند.

دقیقاً به همین دلیل است که هر یک از زنبورهای عسل کارگر و خویشاوندان شان همانند زنبورهای مخملی، زنبورهای واسپ و مورچه ها، با یکدیگر در درون کلنی‌ای که بی‌ملکه و نامنظم است، رقابت نمی‌کنند. با این حال، دقیقا این چشم پوشی و کناره گیری کارگرها از تولید نسل است که زنبورهای عسل از یک استراتژی موفق در انتقال ژنوم خود، استفاده کرده‌اند.

روابط ژنتیکی خاص بین زنبورها

ممکن است این وضعیت غیرعادی که در نظرات زیست شناس انگلیسی، ویلیام دی. هامیلتون (۲۰۰۰ -۱۹۳۶) که بصورت عمومی بیان شده است، بهتر درک شود.

ماهیت نظریه هامیلتون به صورت زیر است: ژن های ویژه در موجودات خاصی که در محل‌های مشابه متمرکز شده‌اند، دارای تأثیرات مشابه بوده و به آنان آلل، اطلاق می‌شوند. آلل‌ها می‌توانند در انواع و اشکال متفاوت باشند و اساس و مبنایی در تغییرپذیری ژن هستند. آلل ها، نه تنها به طور مستقیم به نسل بعد، منتقل می‌شوند بلکه نسخه هایی از آن ها در خواهر و برادرهای شان و بچه ها، عمه‌ها، خاله‌ها، عموها، دایی‌ها و تمامی بچه‌های آنان و کل خانواده شان هم موجود است. احتمال یافتن آلل مشابه در افراد با دور شدن از منشأ اصلی آن (اجداد) کاهش می‌یابد. ناقلی که در آن بقایای آلل، پیامد و نتیجه کمی در موفقیت یک آلل واحد دارد، به عنوان یک آلل رقابت کننده در جمعیت، پخش می‌شود. یک رفتار در خویشاوندان همانند همکاری در پرورش افراد جوان، می تواند برای آلل هایشان، یک مزیت باشد، حتی اگر ناقلان،

هیچ نسلی از خودشان نداشته باشند. در صورتی که آلل ها به شکل منظمی در خانواده بروز کنند، چنین پدیده‌ای، بی‌عیب و نقص نیست.

انتخاب خویشاوند، تئوری توسعه یافته ای توسط جان ماینارد اسمیت (۲۰۰۴-۱۹۲۰) و ویلیام دی. هامیلتون بوده، که مبتنی بر توزیع آلل ها در گروه موجودات خویشاوند است و دارای پیامدهای مشخصی برای توضیح پیدایش همکاری و یا رفتار «نوع دوستانه» دسته جمعی در حیوانات می باشد. این تئوری، توضیحی در مورد موجودات واحد همانند زنبورهای عسل است که حد آستانه را از موجودات تک به موجودات اجتماعی در مدت تکامل شان، انتقال داده اند.

آلل‌هایی که در تقسیم بندی شبکه خانواده، بسیار موفق هستند، به مقدار بیشتری سایر آلل‌ها به شکل خودخواهانه‌ای موجود بیشتری از این تصور که آلل‌ها به شکل خودخواهانه ای رفتار می کنند و هدف آن ها فقط تعیین بسیاری از نسخه های خودشان تا حد امکان در جهان است، به شکل متقاعد کننده ای توسط ریچارد داوکینز (۱۹۴۱ تا کنون) در کتابش تحت عنوان «ژن خودخواه»، توضیح داده شده است. برای فرد ناظر، به نظر می رسد که آلل‌ها به صورت عناصر واحد ، دارای رفتار خودخواهانه می باشند، در حالی که آن چیزی را نشان می دهند که غالبا به عنوان «محرکه تکثیر کننده» در زنبورهای عسل، نامگذاری شده است.

زنبورهای عسل، همانند تمام سایر بال غشائیان، و بسیاری از گونه‌های دیگر حشرات که کلنی تشکیل نمی دهند، دارای مکانیسمی غیرمعمول برای تعیین جنسیت افراد بالغ هستند. زنبورهای حاصل از تخم‌های بارور نشده، دارای یک سری از کروموزوم ها،به حالت هاپلوئیدی ، هستند. اما زنبورهای حاصل از تخم های بارور، دارای دو سری کروموزوم به حالت دیپلوئیدی هستند. زنبورهای عسل دارای یک ژن واحد برای تعیین جنسیت هستند که می‌تواند در آلل‌های متفاوت، ظاهر شوند. فردی که برای این ژن همسان باشد (فردی با آلل های یکسان و مشابه و این قضیه برای تمام افراد هاپلوئید با تنها یک آلل صادق است) به صورت فرد ماده رشد می‌کند. یک فرد همسان از نظر ژن جنسی که بندرت اتفاق می افتد یک نر دیپلوئید بوده و معمولا توسط زنبورهای کارگر در مرحله لاروی کشته می شوند.

این روش تعیین جنسیت ، از طریق تعداد مجموعه های کروموزومی یا هاپلو-دیپلوئیدی، دارای نتایجی غیرعادی می باشد:

- نرها، هیچ پدری ندارند، چرا که از تخم های بارور نشده به وجود می‌آیند. به دنبال آن، نرها، هیچ فرزند پسر و یا نوه پسری ندارند.
- اگر نر و ماده، فرزندان دختر تولید کنند، این دخترها در مقایسه با بچه‌های خود آلل‌های مشترک بیشتری خواهند داشت.

جزئیات قابل بررسی به ما این اجازه را داده تا فهم بهتری از این شرایط عجیب داشته باشیم.

- در سال ۱۹۶۹، Gustav Malecot ، ریاضی دان- زیستی فرانسوی، رابطه خویشاوندی ژنتیکی را با عنوان «r» تعریف کرد، که میانگین احتمالی است که آلل خاص انتخاب شده از یک فرد ، در فرد خاصی که با او خویشاوند است نیز، یافت خواهد شد.
- - ارزش r، ارزش اهمیت بیولوژیکی از نقطه نظر مصرف کننده ژن است، چرا که آن، مسیر جریان ژن را تعریف می‌کند.
- تمام آلل‌های یک پدر هاپلوئیدی، مسلما به هر فرزند دختر، انتقال خواهد یافت. احتمال وقوع آلل های پدر در فرزندان دختر، ۱۰۰٪ است، یا به بیان دیگر ،در آن حالت r= 1.0 است. بدین ترتیب، پدر هر یک از این آلل ها را مجددا در هر فرزند دختر خود خواهد یافت.
- احتمال آماری که آلل های مشابه مادر دیپلوئیدی در فرزندان دختر او هم یافت شود، ۵۰٪ یا r=۰/۵ است،چرا که مادر، دقیقاً تنهانیمی از آلل‌هایش در هر سلول تخم به اشتراک می‌گذارد، بدین ترتیب، مادر مجددا به طور میانگین، فقط نیمی از آلل هایش را در یک فرزند دختر خاص خواهد یافت.
- احتمال اینکه آلل های مشابه در مقایسه ی بین خواهرها، یافت خواهد شد، بواسطه ای از عوامل و فاکتورهای مرتبط با پدر و مادر، ارائه می شود: نیمی از ژنوم یک زنبور ماده، ناشی از پدر است، و در تمام خواهرهای تنی یکسان و مشابه است. در توجیه ریاضیاتی، بدین معنی است که ۱۰۰٪ از ۵۰٪ ژن های خواهرها، یکسان و مشابه هستند. نیمی دیگر ژنوم، از مادر می آید، و فقط دارای ۵۰ ٪ از احتمال یکسان شدن در خواهرها می باشد، چرا که برای هر ژن، مادر دارای یکی از دو آلل احتمالا متفاوت برای ارائه کردن است. در شرایط مربوط به کل ژنوم، این به معنای ۵۰٪ از ۵۰٪ می باشد، یا اینکه ۲۵٪ شباهت دارند.
- حال اگر مقادیر به دست آمده از آلل های پدر و مادر را جمع کرده و خواهرها با دیگران مقایسه شوند، به ۷۵ ٪ = ۲۵ ٪ + ۵۰٪ دست می‌یابیم، یا به عبارت دیگر خویشاوندی ژنتیکی r = ۰/۷۵ است.

بدین ترتیب، زنبورعسل های خواهر ، در میانگین آماری ، $\frac{۳}{۴}$ آلل‌هایشان مشترک است. در حقیقت، این مقدار بین ۵۰٪ آلل‌های مشترک (فقط آلل هایی که از پدرها، به ارث می رسند) و ۱۰۰٪ (آلل‌های به ارث رسیده از هر دو پدر و مادر، مشابه هستند) در نوسان است.

زنبوران تولید شده به صورت کلونینگ ، از لحاظ ژنتیکی، ۱۰۰٪ مشابه و یکسان هستند، درجه خویشاوندی ژنتیکی شان r=۱/۰ است. بچه‌های انسان ها، ۵۰٪ شبیه به والدین شان هستند؛ در این جا، درجه خویشاوندی ژنتیکی، r=۰/۵ است. زنبورهای عسل، با r=۰/۷۵ ، بین حیوانات و انسان ها قرار می‌گیرند. از این دیدگاه، بهترین کاری که

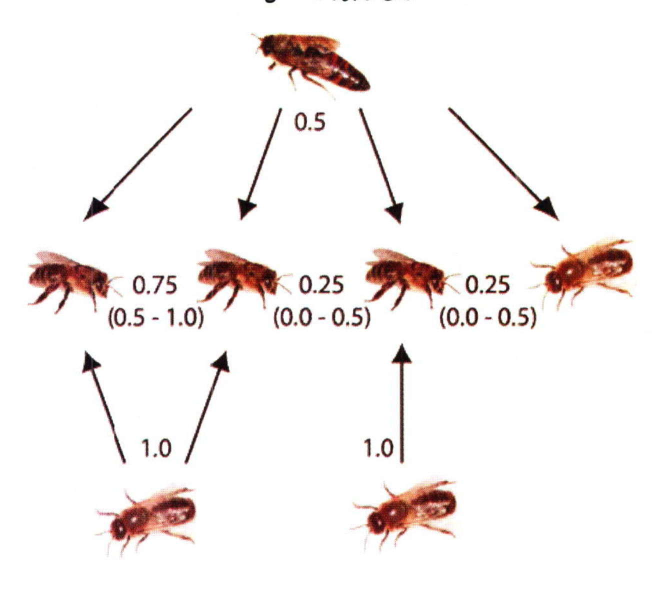
زنبور ماده می تواند برای انتشار و پخش ژن هایش انجام دهد، این است که از تولید و پرورش بچه‌های خود انصراف داده و در عوض به ملکه اش کمک کند که تا حد امکان خواهرهای زیادی را متولد سازد.

به منظور پخش و انتشار آلل‌ها، کارگران عقیم باید با همکاری هم، از یکدیگر حمایت کنند. اگرچه موقعیت کمی پیچیده تر است اما این دقیقاً همان چیزی است که در کلنی زنبورها روی می‌دهد.

معمولا ملکه در پرواز جفت‌گیری با حدودا" ۱۲ زنبور عسل نر، جفت‌گیری می‌کند و اسپرم آن‌ها، تخم‌هایی را که بعدها در زنبورهای ماده رشد و گسترش خواهد یافت را بارور می کنند. تمام کارگرهای حاضر در کلنی زنبور ، دارای یک مادر بوده، چرا که تمامی آن ها از یک ملکه به وجود آمده ، اما از چند پدر هستند. کارگرهایی که از اسپرم یک زنبورعسل نر ، تولید می‌شوند، خواهرهای تنی هستند. آنان نسبت به آنهائی که از پدرهای متفاوت بوده‌اند نیمه خواهر(خواهر تنی) محسوب می گردند. خواهرهای تنی بیشتر از خواهرهای ناتنی آلل مشترک دارند (تصویر ۱ . ۹). از این رو باید از خواهران ناتنی، کمتر از خواهران تنی دیگر، حمایت و پشتیبانی کنند. بازی پیچیده مشارکت و همکاری بین خواهرهای تنی و تضاد بین گروه خواهرهای تنی، این پیش بینی و احتمال را در بر دارد که زنبورها از نزدیک ترین خویشاوندان شان بیشتر حمایت و دفاع می کنند، اگرچه این تعامل به این موضوع بستگی دارد که آن ها قادر به تمایز قائل شدن بین خواهرهای تنی و ناتنی باشند.

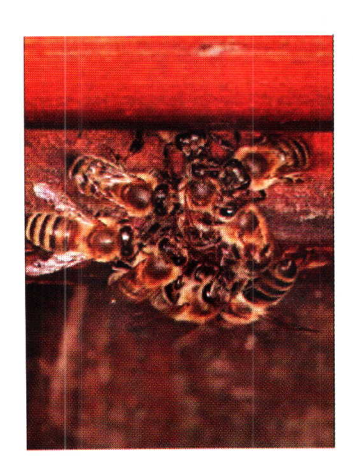
زنبورها می توانند از طریق حس بویایی، تا حد زیادی، هم نوع شان را تعیین کنند. تصمیم بر این که آیا زنبوری که خواهان ورود به کندو است، متعلق به کلنی است یا نه، اهمیت بسیاری دارد. این بازرسی، از طریق زنبورهای نگهبان در ورودی کندو (تصویر۲. ۹) انجام می شود، که می‌تواند تازه وارد را از فاصله دور ببوید و به هنگام فرود او را با شاخک‌ها لمس کند. سنسورهای حساس به مواد شیمیایی در شاخک‌هایشان، آن‌ها را قادر به تعیین این موضوع می کند که آیا به لانه تعلق دارد یا بیگانه است.

اگر عطر و بو، علامتی مبنی بر «بیگانه» را ساطع کند، با تهاجم از سوی زنبوران نگهبان تازه وارد دور خواهد شد. اگرچه در صورت دادن یک قطره شهد به زنبورهای نگهبان به عنوان رشوه، احتمال ورود تضمین شده برایش وجود دارد.



تصویر۱. ۹: درجه زیادی از شباهت های ژنتیکی در کلنی سوپر ارگانیزم زنبورها، توسط درجه خویشاوندی یا « r » نشان داده می‌شود. ملکه و تمام فرزندانش در تمام موارد دارای ارزش"r" ۰/۵ هستند. برای خواهران تنی (با پدر و مادر یکسان) ارزش "r" بین ۰/۵ تا ۱ ،با متوسط ۰/۷۵، قرار دارد. برای خواهران ناتنی (با مادر یکسان و پدر متفاوت) ارزش "r" بین صفر تا ۰/۵ با متوسط ۰/۲۵ می باشد. برادر و خواهرها دارای ارزش "r" در طیف بین صفر تا ۰/۵ با متوسط ۰/۲۵ هستند. پدران نیز دارای ارزش "r" ۱ با دختران خود می باشند. افزایش تعداد پدرها در یک کلنی، باعث افزایش تنوع در ارتباطات خویشاوندی می‌شود. همچنین اگر کارگرها شروع به تخم‌گذاری نمایند، پسرانی را ایجاد خواهند کرد که منجر به ایجاد پیچیدگی‌های بیشتری در ارزش r خواهند شد.

آزمایشات انجام شده در شرایط خاص نشان داده است که زنبورها قادرند از طریق بوی پوست، لایه نازک مومی که تمام حشرات را در بر می گیرد و از آنها در برابر از دست دادن آب، حفاظت می کند، خواهرهای تنی را از خواهرهای ناتنی، تشخیص دهند. در این صورت آیا آن‌ها از این توانایی در انتخاب خویشاوند استفاده می‌کنند؟



تصویر۲. ۹ : زنبورهای در حال ورود به کندو توسط زنبورهای محافظ جهت تعیین این که آیا به کلنی وابسته اند یا نه بررسی می شوند .در این صورت یا اجازه ورود می یابند و در صورت بیگانه بودن از فضای ورودی کلنی رانده می‌شوند.

در مورد انتخاب خویشاوند، تشخیص و شناسایی بو، زمانی مهم است که افراد مولد در حال پرورش بوده، چرا که ملکه ها و زنبورهای نر، در آینده افرادی تکثیر کننده هستند. پرورش ملکه جدید، مسیر ژنومی را برای کلنی جدید تعیین خواهد کرد، و در این جا، احتمال زیاد تعارض و تضاد بین گروه های متفاوت خواهرهای تنی در لانه وجود دارد.

در حقیقت ما هیچ چیز در مورد این که کلنی چگونه تصمیم می‌گیرد که ملکه جدید چه کسی خواهد بود، نمی دانیم .آیا تضادها و رقابت‌های دقیق و ماهرانه ای بین خواهرهای ناتنی روی می دهد، که تا به حال نشناخته ایم؟ گرچه اغلب نقش رفتارهای کارگرها، ملکه های جوان و زنبورهای نر در پرواز جفت گیری گزارش شده است اما آیا این موضوع کاملا ناشناخته است؟

بیشتر این موارد، هنوز هم یک پازل و معما هستند.

احتمال بروز تعارض و تضاد ، زمانی روی می دهد که کارگرها خودشان شروع به تخم گذاری کنند. در زنبورهای اروپایی، از هر ۱۰۰۰ مورد، یک مورد تخمریزی کارگران روی می‌دهد. این تخم ها، غیر بارور بوده و منجر به تولید زنبورهای نر هاپلوئیدی می شوند. بدین ترتیب، درچنین کلنی زنبورهای نر بوجود آمده از ملکه دارای درجه خویشاوندی r =۰/۵ با او هستند. زنبورهای نری که از کارگران به وجود می آیند، دارای درجه خویشاوندی r=۰/۵ با مادران کارگران خود هستند. درجه خویشاوندی بین کارگر و برادرش، r=۰/۲۵ است، و این مقدار، مستقل از تعداد نرهای جفت خورده با ملکه است، چرا که ملکه، ژن های خودش را به نتاج پسرش در تخم های نابارور، منتقل می کند.

در حقیقت این موارد زمانی، پیچیده می شوند که درجه خویشاوندی بین کارگر و خواهر زاده اش، فرزند پسر یکی از خواهرها محاسبه شود. مقادیری که در این جا بدست می‌آبد، به تعداد نرهای جفت خورده با ملکه در پرواز جفت‌گیری او، بستگی دارد. در صورتی که تنها یک جفت‌گیری روی دهد، کارگر دارای خویشاوندی r=۰/۳۷۵ با پسرهای خواهرهایش (و در این مورد، تمام کارگرها، خواهرهای تنی هستند) می باشد. با وجود دو پدر احتمالی، درجه خویشاوندی با خواهرزاده ها، تا ۰/۱۸۷۵، کاهش می یابد که کمتر از خویشاوندی r=۰/۲۵ مشترک با برادرها است. اگر ملکه، ۱۰ بار جفت گیری کرده باشد، خویشاوندی r=۰/۱۵، بین کارگرها و بین آنان با کارگران خواهرزاده حاصل می‌شود. به لحاظ نظری و با در نظر گرفتن چندین جفتگیری عادی برای ملکه، مزیت ژنتیکی برای کارگرها در کشتن پسرهای خواهرهای شان، و نه برادرهای شان وجود داشته و در این حالت بدون محاسبه پسرهایشان درجه خویشاوندی r =۰/۵ است.





تصویر۳-۹: زنبورهای کارگر تخم هایی را که توسط ملکه گذاشته نشده اندو یا هر گونه تخم ناقص و یا تخم هایی راکه درطی رشدشان علائمی از نقص را نشان دهند رامی خورند. به منظور تصویربرداری، تخم‌ها در سلول‌ها به صورت جزئی توسط سوزن تیز آسیب دیده اند، و پس از دقایقی توسط زنبورهای کارگر از سلول ها خارج شده(حلقه سفید در تصویر بالا)وخورده می‌شوند (تصویر پائین).

بدین ترتیب، کارگرها باید خواهرزاده هایی را از بین ببرند که به لحاظ ژنتیکی، از آن ها دور هستند، و کارگرها تخم های سایر کارگرها را می‌خورند (تصویر۳. ۹). آن ها باید از تخم های خودشان و تخم های خواهرهای تنی شان، حفاظت کنند، در حالی که باید تخم های خواهرهای ناتنی شان را از بین ببرند. اما هنوز مشخص نیست که چگونه زنبورها می توانند بین تخم های خواهرهای تنی و ناتنی شان، تمایز قائل شوند. کارگرها همچنین می‌توانند، اطمینان حاصل کنند، که تمام تخم هایی که از ملکه به وجود نیامده‌اند را بخورند.

تعیین کمی ژنتیکی درجه خویشاوندی بین اعضای کلنی زنبورها، اساس و مبنایی را برای یک تئوری جاه طلبانه ارائه کرده است.

درجه خویشاوندی محاسبه شده r ، میانگین آماری است که بین حد نهایت تفکیک شده، قرار می‌گیرد (تصویر۱. ۹). هنگامی که یک زنبورعسل با زنبور دیگر، شفیره، لارو یا تخم

متفاوت دیگری روبرو می شود، او با میانگین آماری برای «r» روبرو نمی شود، بلکه با واحد واقعی r روبرو می‌شود. آیا زنبورعسل می تواند به هنگام رویارویی با زنبور دیگر، این مقدار را تعیین کند؟

نابودی تخم های زنبورهای عسل نر هاپلوئیدی توسط زنبورهای کارگر نشان می‌دهد که آنها می توانند بین تخم های ملکه و خواهرهایشان تمایز قائل شوند در حالی که توزیع تصادفی آلل‌ها، منجر به موقعیت‌هایی می‌شود که در آن زنبور کارگر می تواند با تخم هاپلوئیدی از ملکه ای روبرو شود که به هیچ وجه از لحاظ ژنتیکی، مشترک نیستند، یا با تخم یکی از خواهرانش مواجه شود که با حداکثر تعداد احتمالی آلل ها، اشتراک دارند.

با باور این تئوری، این منشاء تخم نیست که نحوه‌ی عملکرد کارگر را تعیین می کند، بلکه ماهیت ژنوم است که وظیفه آن را تعیین می‌کند.

اما این که چگونه زنبورهای عسل در واقعیت به خوبی قادر به تشخیص آن هستند و چگونه از درجات خویشاوندی استفاده می‌کنند، هنوز نیاز به اثبات دارد.

در مورد نابودی تخم‌های کارگر از طریق کارگرها، توضیح ساده‌تری وجود دارد: مصرف تخم‌ها می‌تواند اقدام پیشگیرانه کاملاً بهداشتی باشد(تصویر ۳ ۹.) . تعداد اندکی از لاروهای به وجود آمده از زنبورهای کارگر، پوست می‌اندازند و رشد جنینی یا آغاز نمی شود یا جنین می میرد. برخلاف تعیین میزان تشابه ژنتیکی، زنبورهای کارگر با وظیفه بی نهایت ساده‌تر تمایز تخم‌های مرده از زنده روبرو می شوند. همچنین این احتمال بسیار زیاد است که تخم های ایجاد شده توسط ملکه از طریق بو و رایحه حفاظتی ایجاد شده توسط ملکه، در زمان تخمگذاری قابل تشخیص هستند، سوالات زیادی در این مورد بی پاسخ می‌مانند.

تعیین جنسیت در شکل هاپلو- دیپلوئیدی در بال غشائیان، موجب تکامل سوپرارگانیزم ها شده و توضیحی را برای تغییر موجود زنده از حالت فردی ازطریق زندگی به صورت تجمعی به حالت اجتماعی بودن ارائه می کند.

وجود سوپرارگانیزم های موجود فعلی از این تئوری حمایت نمی کند که فقط موضوع خویشاوندی، توضیح برای بیولوژی زنبورها می‌باشد. تاکنون، مشکل عدیده‌ای درباره مقدار r ، پیرامون میانگین آماری، عنوان شده است. این موضوع، حتی زمانی پیچیده تر و دشوارتر می شود که چندین جفت‌گیری ملکه به هنگام محاسبه درجه خویشاوندی، مد نظر قرار گرفته شود. ایده‌ها و نظرات کمی هامیلتون، فقط در صورتی معتبر است که تمام زنبورهای کلنی، از یک پدر و یک مادر باشند، اما از آنجائیکه بسیاری از پدرها اثری از خود در کلنی زنبور باقی می گذارند در مورد کلنی هائی که امروزه یافت می‌شوند این ایده ها قابل اجرا است. کارگرهای کلنی، از لحاظ ژنتیکی در مقایسه با دختران خودشان، شباهت کمتری دارند.

شاید در به کارگیری تئوری انتخاب خویشاوند برای زنبورهای عسل، ما دارای موقعیتی باشیم که نکته T.H.Huxley (۱۸۹۵-۱۸۲۵) را ترجیح دهیم، این که «تراژدی بزرگ علم، کشتن فرضیه ای زیبا از طریق یک حقیقت زشت می باشد» ،اگرچه موقعیت در این جا، اینقدر هم جدی نیست. در طول مدت تکامل، انتخاب خویشاوند و هاپلو-دیپلوئیدی برای زنبورها و سایر بال غشائیان برای یافتن راه آنان به سوی سوپرارگانیزم ها، لازم بوده است. از اینرو، به هنگام تاسیس کلنی، خواهرها در بزرگ کردن زنبورهای جوان، به یکدیگر کمک می کنند، درست همان چیزی که امروزه در زنبورهای واسپ می یابیم. اما اگر انتخاب خویشاوند به مدت طولانی، اساس و مبنایی قابل توجه و مهم نیست ، پس چه چیزی زنبورهای عسل را هنوز هم در این سطح نگه می‌دارد؟

همیشه مشارکت، چیز خوبی است.

جفتگیری های متعدد ملکه چه مزایایی را،در ایجاد رفتار کلنی زنبور و بوجود آمدن کارگرهای متفاوت حاصل از پدرهای متفاوت در کلنی، دارا می باشد؟

ازآنجایی که هیچ رابطه خویشاوندی نزدیکی بین تمام اعضای کلنی زنبور، که بتواند منجر به پایان موجودات انفرادی شود، وجود ندارد، برخی از سایر ابعاد و جوانب باید مرکز توجه بیشتری قرار گیردند تا از نابودی سوپرارگانیزم‌ها ممانعت شود.

هنگامی انتخاب خویشاوند به عنوان مبنای اولین مرحله به سوی سوپرارگانیزم در نظر گرفته شود، سایر تغییرات روی داده، مزایایی را ارائه کرده که بیشتر از انحراف ژنتیکی است و علی‌رغم نوسانات قوی در روابط خویشاوندی بین آنها، ارگانیزم‌ها را در کنار یکدیگر و در سوپرارگانیزم‌هایشان حفظ می شوند.

از آنجایی که هر موجود با زندگی انفرادی دارای فیزیولوژی است، ازا ینرو، سوپرارگانیزم دارای سوپر فیزیولوژیی است که از ویژگی‌ها و تعاملات تک تک اعضای کلنی حاصل می‌شود. این فیزیولوژی اجتماعی، یک سوپر ارگانیزم است که همانند یک پرانتز، اعضای کلنی را در کنار هم نگه می دارد، و از ویژگی های آنها این است که در انتخاب رقابتی بین سوپرارگانیزم ها، ارزیابی می شوند. فنوتیپ از مشخصات کلی یک گروه بوده که بر اساس آن انتخاب انجام می شود. اگر فردی متعلق به یک گروه به خوبی ارزیابی شده باشد، در سمت برنده‌ها می‌باشد. چنین کارگرهایی زنده مانده و آلل‌های ژنوم شان را پخش می‌کنند، حتی اگر فقط غیرمستقیم از طریق مادرها و برادرها یشان این کار انجام شود.

علت مهم تعارض ژنتیکی گسترده در اجتماع زنبورها، جفتگیری چندباره ملکه است. از اینرو، سوپرارگانیزم از این چند بار جفت‌گیری چه فایده‌ای می‌برد، وقتی که نتیجه آن، تضاد

داخلی است؟

تعداد زیاد پدر به معنای تعداد زیادی آلل‌های متفاوت است و به معنای کارگرهایی با شمار زیادی از ویژگی‌های متفاوت است.

تفاوت‌های بین زنبورها، شامل حساسیت متغیر آن ها نسبت به محرک‌های گوناگون محیطی است. برخی از پدرها، زنبورهای حساس و برخی، زنبورهای غیرحساس تولید می‌کنند. نتیجه این امر، طیف وسیعی از شدت و کثرت است که کلنی به اختلالات درونی یا بیرونی، واکنش نشان خواهد داد. افراد خاصی، حتی در پی کاهش بسیار کم دمای در منطقه پرورش نوزاد، شروع به تولید گرما می‌کنند. سایرین، فقط در صورتی به آن ملحق خواهند شد که افت دما بیشتر باشد و همچنین گروه دیگری، اگر دما از این هم سردتر باشد فعالیت می کنند. کلنی به عنوان یک مجموعه کلی، به شکل مطلوبی به اختلالات واکنش نشان می دهد و دقیقا به اقدام درستی که مناسب با سطح اختلال است، تجهیز می شود. طیف وسیعی از زنبورهای بسیار حساس تا زنبورهای غیرحساس، به طور خودکار بسته به شدت اختلال واکنش نشان می‌دهند.

وجود چنین خط والدینی در کندوی زنبورعسل و تنوع افراد حاصله از آن، نه تنها بر تنظیم شرایط محیط درون کلنی تأثیر دارد، بلکه بر هر بعد از زندگی زنبورهای کلنی هم اثر دارد.

قابلیت آسیب پذیری کلنی زنبورعسل در برابر عفونت، با تعداد پدرهای دخترهایی که کلنی از آن ها تشکیل می شود، کاهش می یابد. اگرچه این که چرا این گونه کلنی‌ها، کمتر در معرض بیماری قرار می‌گیرند، در مقایسه با مادرهایی که به طور مصنوعی بارور شده‌اند درک نمی‌شود، اما مقاومت در برابر بیماری تک تک اعضاء کلنی مد نظر است. کلنی نامتجانس به لحاظ ژنتیکی، احتمالا قادر به واکنش موثرتر به انواع فشارها و تنش های ایجاد شده از طریق عفونت است. سوالات بسیار جالبی در مورد تحقیقات آتی در مورد این جنبه از بیولوژی زنبورها وجود دارد.

۱۰ پروازها و حرکات زنبور عسل

کلنی سوپرارگانیزم زنبور مفهومی بالاتر از مجموع تمامی بخش‌های ساده آن است. این کلنی دارای ویژگی‌هایی است که نمی‌توان به تنهایی آن‌ها را در هر یک از زنبورها مشاهده کرد. اگرچه بسیاری از ویژگی‌های هر یک از زنبورها، کل کلنی را در یک چهارچوب کاری فیزیولوژی اجتماعی ، تحت تأثیر قرار می‌دهد.

سوپرارگانیزم کلنی زنبور، سیستمی پیچیده و قابل تطبیق

روابط و شیوه ها در کلنی زنبور، بسیار پیچیده است، چرا که واحدهای کوچک ساختار رفتاری، همزمان و به طور مداوم توسط هزاران زنبور، در رفتار جمعی کلنی نقش دارند.

سیستم‌های پیچیده بیولوژیکی، از طریق شکل‌پذیری شان، در مدت زمان کوتاهی با ابعاد مرتبط محیط، یا حتی در مدت زمان بلند، ازطریق تکامل، سازگار می‌شوند.

سیستم‌های پیچیده با قابلیت‌های انطباقی در بسیاری از حوزه‌ها در طبیعت و تکنولوژی یافت می‌شوند و توضیح کلی ویژگی‌های آن‌ها در تعریف گسترده ارائه شده توسط جان ان هلند (از ۱۹۲۹ تا کنون)، از دانشمندان کامپیوتر، گنجانده شده است: شبکه پویا با تعداد زیادی شرکت کننده (می‌توانند سلول‌ها، گونه‌ها، افراد، شرکت‌ها یا نمایندگان ملی باشند) که به طور مداوم از خود واکنش نشان داده و با آن چه که سایر شرکت کنندگان انجام می‌دهند، هم راستا هستند. کنترل این سیستم پیچیده و انطباقی دارای تمایلی به سوی توزیع شدن و تمرکز زدایی می‌باشد. اگر رفتار تلفیقی سیستم مورد نیاز باشد، این حالت ناشی از رقابت و مشارکت شرکت کنندگان است. رفتار سیستم به عنوان یک کل، حاصل تعداد زیادی از تصمیماتی است که به واسطه تعداد زیادی از واحدهای عامل، اتخاذ می‌شود.

برای یک محقق زنبورعسل، این یک تعریف جالب و چالش برانگیز است، که باید به هنگام درک تمامی مواجهات، به دقت مدنظر قرار گرفته شود. این نظریه یک چارچوب تئوریک را برای پدیده زنبورعسل درون چارچوب سایر سیستم‌های پیچیده مهیا نموده و عقیده و باور شهودی به دست آمده از کار با زنبورهای عسل را تأیید می‌کند. یک محقق زنبور تلاش نموده تا طبیعت ویژه سوپرارگانیزم کلنی را براساس تمامی نکات تعریف همانند توصیف نماید:

«کلنی زنبورعسل، مجموعه انطباق یافته پیچیده‌ای از حیوانات است، در حالی که متشکل از هزاران فرد است که به طور مداوم فعال هستند و به شرایط پیرامون شان و به حضور افراد هم کلنی‌شان، واکنش نشان می‌دهند. گروه خاصی از زنبورها برای انجام فعالیت‌های خاص وجود نداشته در عوض کل رفتار کلنی ناشی از مشارکت و رقابت بین زنبورها می‌باشد.»

سیستم‌های پیچیده انطباقی، نظیر کلنی زنبور نشان دهنده توانایی خودسازماندهی در زمان اضطرار می‌باشد. سایر ویژگی‌های مهم سیستم‌های پیچیده انطباقی عبارتند از برقراری ارتباط (در فصل ۸ توضیح داده شد)، سازماندهی فضایی و موقتی (درفصل ۷ توضیح داده شد) و تولید مثل (در فصل ۲ توضیح داده شد).

خودسازماندهی و شکل گیری در کلنی زنبورها، چگونه بیان می‌شود؟

حفظ تعادل

فرآیندهای ضروری زندگی در یک موجود سالم باید در حالت تعادل باقی بمانند. به منظور دستیابی به این هدف، باید مکانیسم‌هایی وجود داشته باشند که در صورت از بین رفتن تعادل به واسطه فاکتورهای درونی یا بیرونی، به شکل فعالانه‌ای، تعادل را به حال اول برگردانند. ارزش‌هایی که به کمتر از میزان تنظیم شده، نزول می‌کنند، باید افزایش یابند و اگر بیش از حد بالا باشند، باید کاهش یابند.

این فرآیندهای تنظیمی از طریق بازتاب‌های منفی باعث ایجاد یک رابطه پایدار بین مؤلفه‌های گوناگون سیستم و جهان خارج شده و منجر به حفظ و تنظیم فاکتورهای محیطی درون سیستم یا هموستازی می‌شوند. در یک موجود بیولوژیکی نظیر کلنی زنبور، هموستازی به مفهوم حفظ حالت تعادل از طریق خودتنظیمی می‌باشد. ممکن است اصطلاح تعادل بیانگر صلح و آرامش باشد. اگرچه حالت تعادل در کلنی زنبور، هرچیزی به جز سرمازدگی می‌باشد. میزان تنظیم ارزش‌ها به طور مداوم تغییر کرده و ازطریق فعالیت پایدار و ثابت کلنی تنظیم می‌شود، وضعیتی که توسط پیشگامان اهل شیلی (۲۰۰۶-۱۹۴۶) ,Humberto Matrana Franasco Vanela (از ۱۹۲۸ تاکنون)، بیشتر آن را به عنوان یک همودینامیک تا یک هموستازی توصیف کرده‌اند.

سیستم‌های بیولوژیکی تنظیم شده، دو ویژگی اساسی را نشان می‌دهند:

اولاً: کل سیستم ، بیشتر حاصل از جمع ساده بخش‌ها و ویژگی‌های آن است که در سطح اجزاء وجود ندارند.

ثانیاً: در عوض، کل سیستم تعیین کننده رفتار بخش‌های سازنده آن است. حالت جفت شدن دو جانبه بین کل و بخش‌های آن، یکی از اصول اساسی بیولوژی موجودات است. به

منظور فهم بهتر پدیده‌های پیچیده موجودات زنده همانند، عملکردها و اهـداف بیولـوژیکی آن، باید در زمینه مطالعه تمامی موارد در برگیرنده درجه درک وابستگی متقابل بخشهای جداگانه به یکدیگر و به مجموعه کل، تلاشی و اقدامی صورت گیرد. در این مورد به خصوص زنبورهـای عسل منطبق با این شـیوه هسـتند چـرا کـه دو احتمـال و تصـور دربـاره ویژگـی‌هـای سیسـتم موجودات، این که کل بیش از مجموعه ساده بخش‌هاست و اینکه کل بر ویژگی بخش‌ها تـاثیر می گذارد، به وضوح در کلنی زنبورهای عسل به اثبات رسیده است.

اولین ویژگی اساسی

کلنی زنبورهای عسل، سیستم بسیار پیچیده‌ای است که حاوی احتمـالاتی بـرای بسـیاری از حلقه‌های بازتاب مـی‌باشـد. در سـوپرارگانیزم کلنـی زنبـور، مـا هموسـتازی را هـم در سـطح عملکردهای بدنی زنبورها به صورت مجزا و هـم بـه صـورت اجتمـاعی در سـطح کـل کلنـی می‌بینیم. در شرایط مربوط به عملکردهای بدنی، هر یک از زنبورهابـه انـدازه تمـام موجـودات زنده سالم دیگر، متعادل و متوازن هستند. حالات تعادل در کلنی فقط از طریق اقـدام مشـارکتی تمام اعضای کلنی حاصل می‌شود. در اینجـا عامـل سـاخت شـان، کنتـرل آب و هـوای لانـه و بهداشت از عوامل مرتبط هستند.

توانایی‌ها و ویژگی‌هایی که فقط به عنوان اقدام جمعی و مشترک ظاهر شـده و توسـط هـر یک از افراد حاصل نمی‌شوند، نشان و علامتی از فیزیولوژی اجتماعی سوپرارگانیزم می‌باشد.

دومین ویژگی اساسی

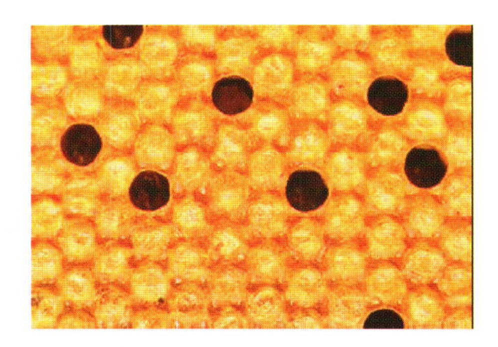
فیزیولوژی اجتماعی کلنی، تأثیر قابل توجهی را بر ویژگی‌های هر یک از زنبورهـا همچـون پرورش نوزاد(فصل ۸) یا ساخت شان (فصل ۷) می‌گذارد.

به نظر می‌رسد که هر چیزی به چیز دیگری وابسته بوده و تفکیک و مطالعه حلقـه‌هـا را بـه صورت مجزا ، بسیار دشوار مـی‌سـازد. حفـظ دمـای محـل پـرورش نوزادهـا، مثـال خـوبی از حلقه‌های کنترل در سوپرارگانیزم کلنی زنبور است.

نه خیلی گرم و نه خیلی سرد

از طریق کنترل، هدف ما اصلاح نقطه انحراف سیسـتم از مقـدار مشـخص شـده در هـر دو مسیر است. ابزار و وسایل مناسب برای تنظیم دما (مکانیسم تنظیم) در زنبورها شناسـایی شـده است: ایجاد رطوبت و بال زدن برای کاهش دما و ایجـاد گرمـا ازطریـق ماهیچـه‌هـای پـروازی جهت افزایش دما می‌باشد. گرمای ایجاد شده توسـط زنبورهـا بـه شـکل بسـیار مـؤثری بـرای

شفیره‌های حاضر در سلول‌های موجود در شان‌های پرورش نوزادها به کار گرفته می‌شود.



تصویر۱-۱۰: سلول‌های نوزادی مثالی از هموستازی اجتماعی بوده و شاهکاری حاصل از هماهنگی بین تمام زنبورها می‌باشد. حرارت مناسب محل پرورش نوزادها منتج از جزئیات معماری آن ناحیه است که در آن زنبورهای گرم کن به واسطه ۱۰-۵٪ سلول های خالی موجود می‌توانند حرارت را به سلول‌های سرپوشیده منتشر کنند.

در این جا ساختار معماری سلول‌های پرورش نوزادها هم نقش دارد. چون به شیوه‌ای خاص ساخته می‌شود تا شرایط مطلوب انرژی و شرایط ثابت برای نوزادها، تضمین شود. در هر دمائی تعداد مناسبی از سلول‌های خالی در بین سلول‌های نوزادی درب بسته وجود داشته که از درون این سلول‌ها برای گرمازائی استفاده می‌شود(تصویر ۱ .۱۰). درصورتیکه تعداد سلول خالی زیاد بوده و یا اینکه تعداد آنان کافی نباشد کارائی گرمازائی کاهش می‌یابد. تناسب بین سلول‌های خالی در بین سلول‌های نوزادی در کلنی‌های سالم زنبورها، ۱۰-۵٪ است. میزان سلول‌های خالی که بین سلول‌های شفیره درپوش‌دار قرار می‌گیرند، می‌توانند از لحاظ تعداد متفاوت باشند که به میانگین دمای محیط بستگی دارد. شرایط نامطلوب که مستقیماً در تنظیم آب و هوای لانه دخالت داده نمی‌شود، می‌تواند منجر به خالی شدن بیش از ۲۰٪ از سلول‌های نوزادها در منطقه دارای درپوش شود. به عنوان مثال، میزان بروز تعداد بالائی از لاروهای زنبور نر دیپلوئیدی که توسط زنبورهای کارگر از سلول‌ها حذف می‌شوند می‌تواند به شان نوزادی ظاهری شدیداً سوراخ سوراخ(موزاییک) بدهد.

میانگین دمایی را که در آن شفیره رشد می‌کند، بر مشخصات زنبور بالغ حاصل از آن و شاید توانایی شان در گرم کردن نوزادها یا ساخت شان‌های مربوط به نوزادها اثر گذار می‌باشد. در واقع، این حالت بر ماهیت و طبیعت نسل بعدی شفیره‌ها تاثیر می‌گذارد. حلقه‌های کنترلی کوچک و بزرگ در محل پرورش نوزادها به هم متصل شده‌اند.

حلقه‌های بازتاب در بسیاری از انواع و اشکال در کلنی‌های زنبور یافت می‌شوند. واکنش‌های بازتابی سریع یا آهسته هم در هر یک از زنبورها و هم در سوپرارگانیزم وجود

دارد. روابط ضعیف یا قوی بین بازتاب‌های منفی و اقدامات متقابل دربرابر اختلالات وجود دارد.

حلقه‌های بازتابی به سرعت یا به صورت تدریجی‌تر عمل می‌کنند که به زمان صرف شده برای تعیین مقدار پارامتر خاص و سرعتی که این مقدار قابل ارتباط دهی است، بستگی دارد. اگر زنبورهای عسل به طور مستقیم به واسطه سیگنال‌های محیط اطراف، اطلاعات را استخراج کنند، معمولاً اقدام متقابل سریع‌تر از زمانی است که اطلاعات به طور غیرمستقیم از طریق سیگنال‌های ارتباطاتی انتقال داده می‌شوند. در مقایسه با اطلاعات حس شده، فعالیتی که از طریق سیگنال‌های ارتباطی، هماهنگ و القاء می‌شود، دارای مزیتی است که واکنش حاصله، مستقل از تجربه فردی هر زنبور خواهد بود. در این جا مثال کلاسیک، برقراری ارتباط با رقص است. در رفتار گرم کردن سلول‌های نوزادی، ما پدیده‌ای را می‌یابیم که جزئیات آن هنوز نامشخص است، اما به نظر می‌رسد که از طریق برخی از انواع سیستم‌های ارتباطی، عمل می‌کند: اگر آخرین بند از شاخک‌ها که حاوی گیرنده‌های حساس به دما است، به دقت از صدها زنبور گرم کن جدا شود، آن‌ها به شکل متفاوتی در محل پرورش نوزاد رفتار نخواهند کرد اما به مدت طولانی، نوزادهای دارای سرپوش را گرم نمی‌کنند. تعدادی از زنبورهای سالم گرم کن که به این گروه بزرگ از زنبورهای غیرحساس به دما اضافه شوند که تمامی آن‌ها در گرماسازی شرکت خواهند کرد. زنبورهای معلول در اندازه‌گیری مستقیم دمای کاهش یافته و واکنش به آن ناتوان بوده اما رفتار گروهی گرماسازی از طریق تحریک توسط سایر افراد سالم و یا برخی از انواع ارتباطات، آغاز می‌شوند. تعداد کمی از زنبورهای سالم قادر به تحریک کل جمعیت زنبورهای معلول بوده تا نوزادها را گرم کنند.

سطوح کنترلی برای هر موجود در طول مدت تکامل آن از طریق فرآیند تغییر و انتخاب به مقدار مطلوب خود می‌رسد. اکثر سیستم‌های به شدت پیشرفته، نه تنها نمی‌توانند مطابق با محدودیت‌های بلند مدت در طول تکامل فعالیت کنند، بلکه می‌توانند نقاط مجموعه مدارهای کنترلی را در کوتاه مدت، تغییر داده و به طور مداوم با شرایط جدید سازگار شوند.

سطوح مشخص در کلنی زنبور، نظیر اندازه مطلوب سلول‌های نوزادی یا میزان ذخیره گرده می‌تواند به شکل قابل توجهی در فصول مختلف متغییر باشد و توانایی سوپر ارگانیزم در تطبیق مداوم با این تغییرات، تجلی از قدرت انعطاف‌پذیری آن‌هاست.

سوپر ارگانیسم در واکنش به نیازهای جدید و یا در صورت نیاز به توسعه فعالیت‌ها ، دارای سه شیوه است:

- افرادی که تاکنون به شدت درگیر در انجام وظیفه بوده‌اند، می‌توانند تلاش شان را افزایش دهند.

- افرادی که مشغول به انجام وظایف دیگری می‌باشند، می‌توانند به سوی فعالیت جدیدی مجدداً هدایت شوند، اگرچه این مسئله ممکن است منجر به تعارضاتی در رابطه با اجرای دو فعالیت متفاوت شود.

افراد ذخیره و فاقد وظیفه ای خاص می توانند به کار گرفته شوند.

معمولاً زنبورهای عسل از طریق فعال‌سازی افراد ذخیره و حفظ و نگهداری آنانی که توانایی انجام وظیف را دارند واکنش نشان می‌دهند.

مدار کنترل برای وارد کردن شهد و مصرف عسل

تعداد بسیار زیادی فاکتورهای ارزشی قابل ترجیح در کلنی زنبور وجود دارد. توماس دی سیلی (از ۱۹۴۹ تاکنون) در کتابش تحت عنوان «هوش کندو»، کارش را در زمینه بهره‌برداری از منابع غذایی، توسط یک کلنی زنبور توضیح می‌دهد .او یک فهرست کامل از عوامل مؤثر بر اندازه بهینه ذخایر عسل موجود در کلنی زنبور را بیان می‌کند. قابلیت دسترسی به فضای اندوخته عسل در شان و مقداری که توسط زنبورها مصرف می‌شود دو عامل کلی هستند که متعلق به این فهر ست می‌باشند.

استفاده گسترده از عسل برای گرم کردن سلول‌های نوزادی باید از طریق وارد کردن متقابل شهد، به حالت تعادل برسد. این امر توسط جستجوگران غذا، انجام می‌شود. کنترل جستجوگران غذا باید شامل دو جنبه زیر باشد: فعال شدن جستجوگران غذا در زمانی که ذخایر کندو کاهش می‌یابد و منبع خوبی در محیط بیرون وجود دارد و کاهش در فعالیت تلاش و جستجو در زمانی که ذخایر کافی در کندو وجود دارد یا در صورتی که تعداد مکان‌های غذایی افت نماید. در هر مورد بازتاب این موضوع، ازطریق مکانیسم‌های ارتباطی روی می‌دهد.

رقص‌ها باعث فعال شدن افراد ذخیره در کلنی می شود اما عدم تمایل زنبورهای دریافت کننده شهد در شان ها، دارای تأثیر معکوس بوده و باعث تنظیم نزولی فعالیت جستجو، می‌شوند. این گونه بازتاب‌ها، امکان واکنش سریع کلنی را در هر موقعیت جدید فراهم می‌سازد.

جزئیات کنترل به شکل زیر است: زنبورهای جستجو گر در صورتی رقص ارتعاشات شکمی یا مدور را انجام می‌دهند که منبع شهد در مزرعه خوب باشد و آن‌ها همکاران موجود در کندو را مجبور می‌کنند تا شهد بیشتری را مصرف نمایند. این افزایش در واردات شهد به این دلیل نیست که جستجوگران غذا با سخت کوشی بیشتر شهد جمع‌آوری می‌کنند بلکه به دلیل افزایش تعداد زنبورهای جستجوگر غذا می‌باشد. کلنی زنبور باید ذخیره قابل توجهی از زنبورهای غیرفعال را که از طریق رقص ارتعاشات شکمی فعال می‌سازد، در دسترس بگذارد.

تصویر درست و دقیق از فعالیت و کاوش تنها یک زنبور، به واسطه زنبورهایی که در هنگام تولد به ریزتراشه (RFID= شناسایی فرکانس رادیویی) مجهز می‌شوند قابل دستیابی است. این تراشه هر گشت کاوشی را که زنبور در طول زندگی‌اش انجام می‌دهد ثبت می‌کند(تصویر۲ .۱۰) و نشان می‌دهد که به طور میانگین یک کاوشگر معمولاً سه تا ده بار در روز پرواز می‌کند.

زنبورهای گیرنده مسئول پذیرش شهد از جستجوگران غذا یا به صورت طولانی به آن‌ها در تخلیه محموله‌هایشان کمک نمی‌کنند (البته در صورتی که تمام مناطق ذخایر موجود در لانه پر باشند) یا آن‌ها را منتظر نگه می‌دارند. سپس جستجوگران رقص‌های ارتعاشی انجام داده و به سایر کاوشگران علامت می‌دهند که جستجو و تلاش بیشتری نیاز نیست.

جستجوگران غذا زمانی که منبع غذایی در حال کاهش بوده، یا تعداد زنبورهای در حال افزایش است، وظیفه خود را با تأخیر انجام می‌دهند. در مسیر بازگشت به کندو جستجوگران غذا دیگران را هل داده و باعث ایجاد صدای « بیپ » بلندی می‌شوند(تصویر۳ .۱۰).

این صدای بیپ، تأثیر تنظیم کننده‌ای هم، بر رقاص‌های لرزشی و ارتعاشات شکمی دارد. با این صدا، رقاص‌های ارتعاشات شکمی ، دست از رقص خواهند کشید. در خارج از منطقه رقص، رقص‌های لرزشی و صدای بیپ، زنبورهای گیرنده بیشتری را به کار گرفته تا قابلیت فرآوری شهد کلنی افزایش یابد. رقص لرزشی، هم باعث کاهش حرکت جستجوگران و هم تحریک کننده زنبوران دریافت کننده شهد می‌شود. رقص‌های ارتعاشات شکمی ، رقص های لرزشی و صدای بیپ تولید شده، کل جریان شهد و فرآوری آن را در کندو تثبیت کرده و منجر به تفاوت کمتری در این موارد می شوند در حالیکه این تفاوت اگر به واسطه هدایت رفتار جستجوگرانه از طریق نوسان منبع غذا در مزرعه ایجاد شود، بیشتر می‌باشد(تصویر۴. ۱۰).



تصویر۲-۱۰: در ناحیه سینه زنبورهای خارج شده از مرحله شفیرگی یک میکروچیپ کوچک نصب شده است. این باعث می-شود تا فعالیت زنبورها به صورت مجزا در طول زندگی‌شان به صورت مداوم مورد بررسی قرار گیرد.

فعالیت جستجوی فضایی و موقتی کلنی، نتیجه مدیریت پرمعنا و مفهوم محل‌های جدید و قدیمی تغذیه از طریق زنبورهاست. جریان اطلاعات استفاده شده در به کارگیری نیروی کار کلنی به رقص‌ها و به رفتار زنبورهای دریافت کننده بستگی دارد که به طور مداوم، طعم منابع غذایی متفاوت را مقایسه می‌کنند. در این شیوه توزیع جوینده‌های غذا در مزرعه به شکل مطلوبی با منبع غذایی متناسب می‌شود.

مدارهای کنترلی مجزا، به هم متصل بوده بطوریکه مدار کنترل جمع‌آوری کننده شهد با سیستم کنترل ساخت شان، به یکدیگر متصل هستند. اگر زنبورهای دریافت کننده شهد که به جوینده‌های غذا کمک نموده و سپس محموله‌های آن‌ها را در سلول‌ها انبار می‌کنند، هیچ فضایی را برای ذخیره شهد نیابند، غدد مومی آن‌ها شروع به تولید مواد اولیه بیشتری کرده و در نتیجه باعث آزاد شدن موج جدیدی از شان سازی می‌شوند، سپس فضای اضافی برای انبار ایجاد می‌شود. البته فضای درونی کندو باید امکان چنین توسعه و گسترشی را فراهم سازند.



تصویر ۳-۱۰: زنبوران جوینده غذا پس از ترک منبع غذایی و برگشت به کندو، اگر نتوانند نظر سایر افراد رقصنده را به خود جالب کنند با تولید صدای بیپ سریعاً رقص آنان را متوقف می‌نمایند. با این حال این صدای بیپ باعث فعال شدن افراد غیرفعال دریافت کننده شهد شده و آنان را به اخذ محموله شهد جستجوگران ترغیب می‌کند.

دمای محل پرورش نوزادها یکی از موارد ارزشی ویژه در کلنی زنبورهاست. اگر این دما بیش از حد بالا باشد زنبورها، آب به کندو آورده و آن را به شکل لایه نازکی بر روی لبه‌ها و سرپوش‌های سلول‌ها پخش می‌کنند، در حالی که تعداد جمعیت زنبورها در روی شان، جریان هوای خنک کننده را با بال‌هایشان ایجاد می‌کنند (تصویر۵. ۱۰). اگر دما بیش از حد سرد باشد که معمولاً در کندو پرورش نوزاد این حالت روی می‌دهد، زنبورهای گرم کن وارد عمل می‌شوند (تصویر۶ .۱۰).

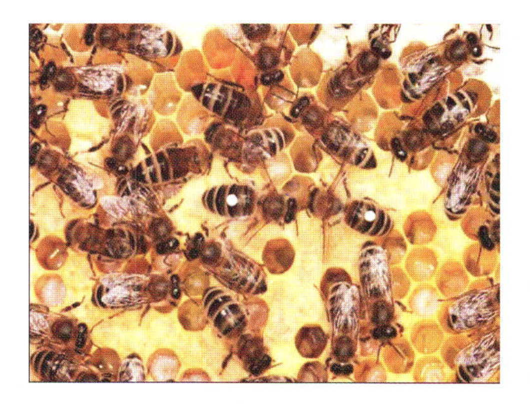


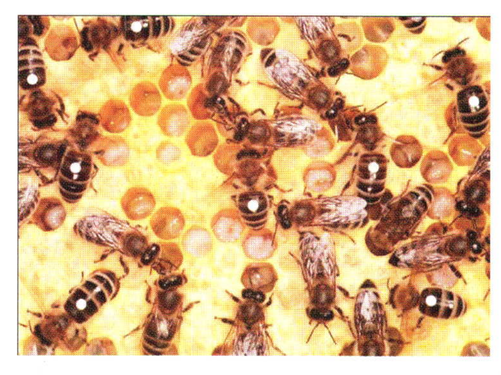


تصویر ۴-۱۰: دو رفتار متفاوت در«کنترل حجم» برای تنظیم ورودی شهد به کلنی را ملاحظه می‌کنید. در تصویر بالا رقص ارتعاشات شکمی زنبورهای جوینده غذا را بیشتر تحریک می‌نمایند. تصویر پائین رقص لرزشی را نشان داده که زنبورهای جوینده غذا را از پروازهای آتی منصرف نموده و بنابراین میزان ورودی شهد به کلنی کاهش می‌یابد.

ما شاهد دو نوع رفتار بسیار متفاوت با تأثیراتی متضاد هستیم که ازطریق تنوع و گوناگونی در این موارد ارزشی ویژه، ایجاد می‌شوند.

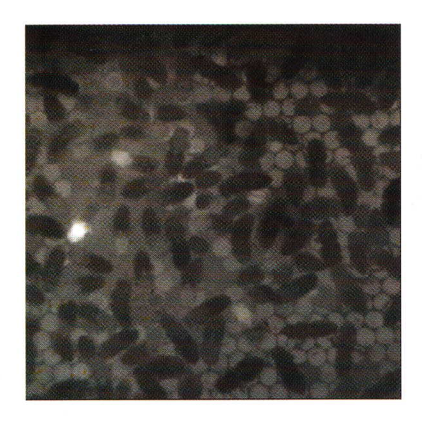
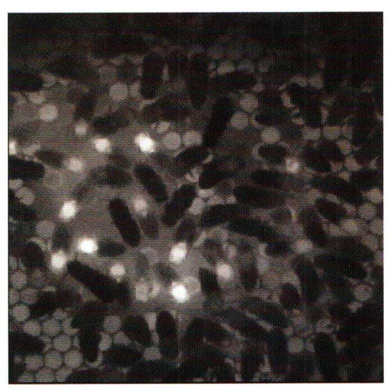
اما چگونه است که نه تنها جهت تغییر (خنک سازی یا گرم سازی) همیشه مناسب است بلکه مقدار دقیق دمای کندو نیز تعیین می‌شود؟ و چگونه است که تعداد دقیق زنبورهای لازم برای اصلاح تغییر ناخواسته دما فعال می‌شوند؟





تصویر۵-۱۰: تعدادکمی زنبور تنظیم کننده تهویه در بخش سلول‌های نوزادی دارای درپوش، در صورت افزایش اندک دما شروع به فعالیت می‌کنند(تصویر بالا). درصورتی که دما گرم‌تر شود تعداد بیشتری شروع به فعالیت می‌کنند(تصویر پائین).

راه حل ساده و درعین حال بسیار کارآمدی وجود دارد. هر یک از زنبورها در مقابل علائم و نشانه‌هایی که رفتار را ایجاد می‌نماید، حد آستانه متفاوتی دارند. برخی از زنبورها به دنبال افزایش بسیار کم دما، شروع به بال زدن می‌کنند. اگر این اولین گروه از خنک کننده‌ها موفق به کاهش دما شوند، همه چیز به خوبی پیش می‌رود. اما اگر آنها موفق نگردند دما افزایش یافته و زنبورهای بعدی حساس‌تر به دما، با بال‌هایشان شروع به بال زدن می‌کنند و الی آخر (تصویر۵ .۱۰). هنگامی که دما کاهش یابد، افرادی که دارای بالاترین حد آستانه نسبت به دما هستندو به عنوان آخرین گروه شروع به باد زدن کرده بودند، اولین زنبورانی هستند که بال زدن را متوقف می‌نمایند. این فرآیند بسیار مؤثر است چرا که تلاش به کار گرفته شده دقیقاً برای میزان اختلال دمایی مناسب است. زنبورهای ذخیره از نظر توانایی و حد آستانه تحریک مشابه نیستند، بلکه به صورت نامتجانس می‌باشند. این ترکیب از زنبورها با استعدادهای مختلف این امکان را برای کلنی فراهم می‌سازد که به شکل مناسبی به هر نوع اختلالی، واکنش نشان دهد.

تصویر ۱۰.۶ تعداد کمی زنبور گرم کن در زمانی که دمای سلول‌های نوزادی کمی کاهش یافته فعال می‌شوند(تصویرچپ). تعداد زیادی زنبور گرم کن در زمانی که درجه حرارت بطور معنی‌دار از میزان مورد نیاز کاهش یابد، فعال می‌گردند.

مقدار حد آستانه که در آن رفتاری در فرد ایجاد می‌شود، تا حدودی به واسطه ژنوم تعیین می‌شود و از طرف دیگر ناشی از جفت‌گیری‌های متعدد زنبور ملکه است. وجود پدرهای متفاوت در کلنی منتهی به تولید دخترهای متفاوت با مقدار حد آستانه متفاوت رفتاری شده، و به دنبال آن طیف گسترده‌ای از حساسیت‌ها بوجود می‌آید. هر چقدر این طیف و گستره، وسیع‌تر باشد، تعداد زنبورهای به کار گرفته در تنظیم اختلالات بیشتر شده و دقتی که بر اساس آن کلنی بتواند تنظیم شود، دقیق‌تر می‌شود.



تصویر ۷-۱۰: با توجه به ازدحام زیاد جمعیتی زنبورها در محل زندگی، تمیز کردن متقابل یک امر ضروری جهت پیشگیری از همه‌گیری‌های بیماری‌ها است.

مقادیر آستانه برای اقدامات خاص هم می‌تواند تحت تأثیر شرایط محل پرورش نوزادها باشد. برخلاف مؤلفه ژنتیک، این یک فرآیند بازتابی آهسته بوده و ظاهراً توسط خود زنبورها تنظیم شده و تصمیم‌گیری زنبورها در آن نقش بازی می‌کند.

هیبرید حاصل از زنبور اروپایی، *Apis mellifera carnica*، با زنبور آفریقایی، *Apis mellifera scutellata*، منجر به ایجاد زنبورهای قاتل آفریقایی شده است. به لحاظ رفتاری، این هیبرید آشکارا فاقد توان بالا در واکنش کلنی در زمان بروز خطر است. آژیر خطر دشمن، برخلاف ارتباط صمیمانه در ارتباطات رقص، باید در هر کلنی زنبور، تعداد زیادی از اعضای کلنی را فعال سازد که در این جا به میزان توالی خطر بستگی دارد. برقراری ارتباط آژیر «از خط خارج شده» در کلنی زنبورهای قاتل، در تمام شیوه‌ها یا در هیچ شیوه‌ای، عمل می‌کند. کمترین مقدار آزاد شده از ماده هشدار دهنده ایزوپنتیل استات که از نیش زنبور آزاد می‌گردد باعث شده تا کل کلنی از کندو بیرون ریخته و به زنبوران نیش زن ملحق شوند که غالباً نتایج و عواقب مرگباری برای قربانی به دنبال دارد.

بیماری به عنوان یک ناسازگاری

بیماری می‌تواند تک تک زنبورهای یک کلنی را دچار مشکل نماید. بیماری‌های زنبور از طریق پاتوژن‌ها یا پارازیت‌ها حاصل می‌شود و قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها، همگی به عنوان منابع عفونت‌زا برای زنبورهای عسل تلقی می‌شوند. پارازیت‌هایی نظیر کنه واروآ، نه تنها نشان دهنده تهدیدی مستقیم در این رابطه است بلکه می‌تواند حامل پاتوژن هم باشد.

زنبورهای عسل دردنیای بسیار شلوغی و باور نکردنی زندگی می‌کنند و در تماس نزدیک با یکدیگر هستند و از این‌رو هیچ تعجبی ندارد که در دوره تکامل زنبورها انواع مکانیسم‌هایی اختراع شده باشند که بتوانند در جهت پیشگیری موفقیت آمیز بیماری به کار گرفته شوند.

در آغاز به علت وجود کوتیکول به عنوان پوشش خارجی بدن زنبورها که با یک لایه نازک مومی همراه است، نفوذ پاتوژن‌ها به آن دشوار می‌باشد. پاتوژن‌هایی که از این سد دفاعی عبور می‌کنند با سیستم ایمنی روبرو می‌شوند که در اثر سلول‌های دفاعی موجود در همولنف که دارای مکانیسم‌های ذاتی دفاع مولکولی هستند، درگیر می‌شوند. این موانع در اشکال مشابه یا کاملاً همانند در حشرات انفرادی یافت می‌شوند. با این حال به عنوان یک کلنی، امکاناتی در دسترس زنبورهای عسل است که گونه‌های انفرادی دیگر فاقد آن هستند همانند بهداشت لانه که به دقت توسط تعدادی از الگوهای خاص رفتاری حفظ می‌شود.

زنبورهای کارگر که غالبا در فعالیت پاک‌سازی دو جانبه شرکت دارند (تصویر۷. ۱۰) ارزشمندترین عضو کلنی، ملکه می‌بایست در معرض پاک سازی بدون وقفه توسط زنبورهای

اطرافش قرار گیرد(تصویر۸. ۱۰).

سلول‌های محل پرورش نوزادان می‌بایست قبل از تخمگذاری کاملاً تمیز شوند (تصویر۹ . ۱۰).

در صورتی که مرگی در کندو روی دهد، جسد به سرعت ممکن از کلنی خارج می‌گردد (تصاویر۱۰ .۱۰ و ۱۱ .۱۰).



تصویر ۸-۱۰: ملکه تقریباً به صورت دائم توسط زنبورهای اطرافش تمیز می‌شود. در میان تمام افراد موجود در کلنی او کمتر دچار بیماری می‌شود.

زنبورهای بیمار توسط زنبورهای در حال کار در کندو شناسایی شده و به شدت مورد درمان قرار می‌گیرند، اگرچه مشخص نیست که بر چه اساس و پایه‌ای، اعضای بیمار کلنی شناسایی می‌شوند. احتمالاً این افراد به دلیل رفتار تغییر یافته شان یا تفاوت ماهیت شیمیایی سطوح بدن شان، مشخص می‌شوند.

زنبورها در دفاع در مقابل عفونت‌ها، از وسایل و طرق خارجی استفاده می کنند. بره‌موم، رزینی که توسط زنبورها از منابع مختلف گیاهان جمع آوری و در ساخت شان مومی استفاده شده و دارای خاصیت ضدباکتریایی و ضدقارچی است. زنبورها وارد خواص دارویی دنیای گیاهان شده و مواد دارویی مورد نیاز خود را به دست می‌آورند.



تصویر۹-۱۰: تمیز نمودن کامل تمام سلول‌های نوزادی خالی جهت تخم‌گذاری ملکه یک رفتار مهم در سلامت کلنی است.

با این حال بیماری می‌تواند باعث تغییر رفتار شود. در قرون وسطی، مردم در موارد اپیدمی و شیوع بیمار ی، شهرها را به سوی سرزمین‌های باز ترک می‌کردند، استراتژی‌ای که باعث کاهش روند گسترش بیماری می‌شد. زنبورهای عسل هم به دنبال آغاز بیماری ، تغییراتی را در رفتارشان نشان می‌دهند. عفونت‌ها یا هجوم پارازیت‌ها که بر توانایی‌های فردی زنبورها در جهت‌یابی تأثیر می‌گذارد برای آن‌ها مرگبار و کشنده است. زنبورهای بیمار نمی‌توانند بعد از پرواز جستجوی غذا، راه برگشت به سوی کلنی خود را بیابند. آن‌ها در مزرعه مانده و همانجا می‌میرند.

این شیوه خود پاکسازی کلنی‌ها، در صورتی می‌تواند منجر به مسئله و مشکل شود که پرورش‌دهندگان زنبور عسل کلنی‌ها را به قدری نزدیک به هم قرار دهند که زنبورهای بیمار، نتوانند کندوی خودشان، بلکه کندوهای مجاورشان را پیدا کنند (تصویر۱۲. ۱۰).



تصویر۱۰-۱۰: لارو یا شفیره‌های مرده سریعا شناسایی شده و از کندو خارج می‌گردند.



تصویر ۱۱-۱۰: زنبورهای بالغ مرده‌ای در درون کندو هدف رفتار پاک‌سازی زنبورها قرار گرفته و اجساد آنان به خارج از کندو حمل می‌شود.

بنابراین مکانیسم طراحی شده توسط طبیعت در تفکیک بیماری، تبدیل به شیوه گسترش بیماری در کندوهای مجاور می‌شود. مشکل تا حدودی از طریق فعالیت زنبورهای نگهبان، کاهش یافته اما کاملاً حل نمی‌شود.



تصویر ۱۲-۱۰: در مقایسه با جمعیت‌های وحشی، پرورش زنبور در کلنی‌های مدرن نزدیک به هم صورت می‌گیرد. این امر موجب گسترش سریع بیماری‌ها در بین کلنی‌ها می‌شود.

تقسیم بندی نیروی کار، کنترل نامتمرکز و مواقع اضطراری

تقسیم نیروی کار (فصل ۲ و ۸) یکی از دلایل موفقیت حشرات تشکیل دهنده کلنی است. در زنبورهای عسل، این تقسیم نیروی کار از اولویت وابسته به سن برای انجام وظایف خاص پیروی می‌کند. واضح‌ترین تشخیص و شناسایی، فعالیت زنبورهای مسن‌تر به عنوان جوینده غذا می‌باشد اما با وجودی که این امر در اصل برای اکثر وظایف خاص در کلنی درست بوده و نشان از میزان بالای انعطاف‌پذیری است. اگر تمام زنبورهای جوان از کلنی حذف شوند، برخی از زنبورهای مسن دوباره جوان شده و غدد تغذیه یا حتی غدد موم آن‌ها فعال خواهد شد. همچنین جذب تمامی زنبوران مسن از کندو منجر به این می‌شود که زنبورهای جوان به سرعت تبدیل به جوینده غذا شوند. این قابلیت انطباق سیستم، مبتنی بر مؤلفه ژنتیکی است که خودش نشان دهنده افزایش عمدی زنبوران متخصص در یک وظیفه خاص با تعداد نامتناسب می‌باشد.

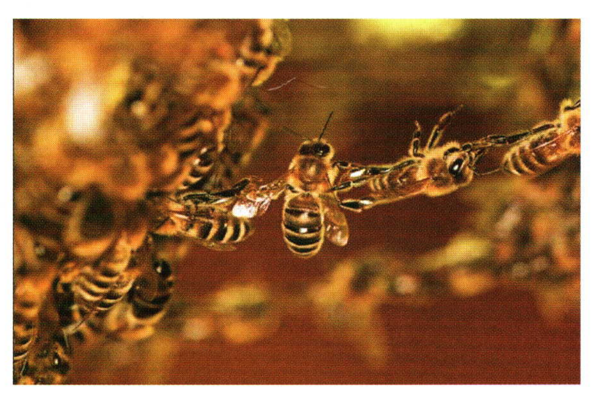
وجود زنبوران متخصص، بکارگیری انحصاری افراد را در چنین جامعه‌ای را تضمین نمی‌کند. به نظر می‌رسد زنبورهای عسل در هر سن و با هر شغلی که باشند می‌دانند که چه کاری باید انجام دهند، چه زمانی آن را انجام دهند، کجا انجام دهند و چقدر آن را انجام دهند. زنجیره مشاغل وابسته به سن در زندگی زنبورعسل، فقط چارچوبی را ارائه می‌کند که در آن کلنی زنبور می‌تواند تمام احتیاجاتش را تحقق بخشد. میزان و ماهیت کار انجام شده در کلنی زنبور و میزان انرژی‌ای که فعال می‌شود به قدری به هم مرتبط است که فرد باید بپرسد که چگونه زنبورها به شکل مناسبی به نیازها، پاسخ می‌دهند. چه کسی دستور می‌دهد و چه کسی تضمین می‌کند که آن‌ها به درستی انجام می‌شوند؟

به نظر می‌رسد پاسخ ساده است. آن‌ها ملکه دارند که حداقل از نامش به نظر می‌رسد که رئیس کلنی است. با این حال، به جز یک مورد تمامی دستورات از سوی ملکه صادر می‌شود. ملکه بارور، ماده‌ای را در غدد آرواره‌ای زیرین خود ترشح می‌کند که از طریق تبادل دهان به دهان در تمام زنبورهای کندو توزیع شده و مانع از رشد تخمدان کارگرها می‌شود. این شیوه او را به عنوان حاکم مطلق در تولیدمثل کندو، جدای از موارد بسیار نادر در مورد کارگران تخم گذار، تضمین می‌کند.

این موقعیت نشان دهنده ساختار فرمان در مفهوم تصمیم‌گیری نمی‌باشد بلکه تنها واکنش فیزیولوژیکی زنبورها به فرمون‌ها بوده، اگرچه تعداد زیادی از زنبورهایی که تحت تأثیر قرار می‌گیرند، سلطان حاکم را درک می‌کنند.

کلنی‌ها به صورت سلسله مراتبی سازماندهی نمی‌شوند. رفتار دسته جمعی زنبورها، تمرکز زدایی شده است. هر یک از زنبورها به گونه‌ای رفتار می‌کند که گویا خود به چنین تصمیمی دست یافته است. نتایج این تصمیمات، تغییرات محلی و کوچک در کلنی است. در عوض این

تغییرات کوچک، محرک‌هایی برای سایر زنبورها هستند که با موقعیت محلی جدید سازگار شوند و خودشان تصمیم‌گیری کنند. رفتارهای اصلی قابل مشاهده در کلنی، ناشی از این تصمیمات بسیار کوچک است. بچه دادن، ساخت شان مومی، استفاده از شان و کاوش و جستجو در پیرامون کندو، همگی از این گونه رفتارهای اصلی در کلنی هستند (تصاویر۱۳. ۱۰- ۱۶. ۱۰).



تصویر۱۳-۱۰: تشکیل بچه کندو توسط زنبورهای عسل در بردارنده مفهوم واژه «هوش بچه کندو» است.



تصویر۱۴-۱۰: ساخت شان تجلی محسوسی از فعالیت همگانی اعضای کلنی است.



تصویر ۱۵-۱۰: استفاده بهینه از شان بواسطه تاثیرات متقابل بین زنبورها است.

ویژگی‌های کیفی جدیدی که به نظر می‌رسد به دنبال تعامل بین شرکت کنندگان در چنین سیستمی باشد، به عنوان مورد اضطراری توصیف می‌شوند. رفتارهای اصلی سیستم به عنوان نتیجه اضطراری بسیاری از مراحل کوچک بوده که از پایین به بالا و نه از بالا به پایین پدیدار می‌شوند.

ویژگی‌های ضروری که برای سیستم بی‌فایده‌اند، به اندازه الگوهای بلورهای برف، بی‌معنی هستند. انتخاب طبیعی در بین کلنی‌های زنبور تضمین می‌کند که رفتارهای اصلی آن‌ها، برای کلنی، مفید و انطباقی باشد.



تصویر ۱۶-۱۰: ارتباطات اساس رفتار هماهنگ در بین زنبورهاست.

ممکن است رفتار سوپرارگانیزم‌ها برای فرد ناظر، هوشمندانه به نظر برسد، چرا که به نظر می‌رسد آن‌ها راه‌حل‌های مناسبی را برای وظایف و مشکلات پیدا می‌کنند به این رفتار سوپرارگانیزم‌ها هوش جمعی گفته می‌شود.

مطالعه هوش جمعی سوپرارگانیزم‌ها دیدگاه‌های جالبی را برای زیست شناسان به همراه دارد و همچنین با علاقه زیادی در بسیاری از اصول و قواعد فرعی ریاضی و فنی دنبال می‌شود. در سوپرارگانیزم‌ها عوامل و عناصر کوچک با توانایی‌های محدود با محیط شان و سایر عوامل مشابهی که به آن تعلق دارد فعل و انفعال دارند، این اقدامات کوچک به الگوهای کوچک منتهی شده در حالی که پایه و اساس را برای «هوش مصنوعی» ماشین‌ها تشکیل می‌دهد که یک نمونه خاص متعلق به آن هوش بچه کندو است.

دیدگاه‌های ریاضی‌دان‌ها و مهندسانی که سرگرم کار با سیستم‌های پیچیده کامپیوتری هستند، زیست شناسان را بر آن داشته است که آن‌ها هم با اصول و قوانین رسمی در جستجوی مکانیسم‌هایی باشند که طبیعت با موفقیت در سوپرارگانیزم‌های پیچیده خودش ساخته است.

فقط زنبورها از عوامل مهم و جالب در محیط طبیعی نیستند. سیستم‌های کنترل شبکه سازی شده آن‌ها، امکان مشاهده راه‌حل‌هایی را برای مهارت‌های پیچیده فراهم می‌سازد که می‌تواند به عنوان مدل‌های ابتدایی در تکنولوژی به عنوان بعد جالب دیگری از پدیده مربوط به زنبور عسل به کار گرفته شود.

Harvard University Press, Cambridge Mass. [German (1997): Honigbienen. Im Mikrokosmos des Bienenstocks. Birkhäuser, Basel Boston Berlin[

Turner, JS. (2000). The extended organism. The physiology of animal built structures. Harvard University Press, Cambridge Mass

Wenner AM, Wells PH, (1990). Anatomy of a controversy: The question of a dance "language" among bees, Columbia University Press, New York

Wilson ,E.O. (1971). The insect societies. Harvard University Press Cambridge Mass.

Winston ,M. (1987). The biology of the honey bee. Harvard University Press, Cambridge Mass.

Photograph Sources

Brigitte Bujok, BEEgroup: Picture Guide, Figs. 1.1, 8.5, 10.6

Brigitte Bujok, Helga Heilmann, BEE group: Figs. 4.16–4.21, 4.23

Marco Kleinhenz, BEE group: Figs. 4.22, 8.12

Marco Kleinhenz, Brigitte Bujok, Jürgen Tautz, BEEgroup: Fig. 3.3

Barrett Klein, BEE group: Fig. 7.16

Axel Brockmann, Helga Heilmann, BEE-group: Fig. 4.9

Mario Pahl, BEEgroup: Fig. 4.11

Rosemarie Müller-Tautz: Figs. 4.3, 4.7 right

Thermovision Erlangen and BEEgroup: Chap. 8 cover photo, Figs. P.4, 8.2

Jürgen Tautz, BEEgroup: Fig. 5.6 right

Olaf Gimple, BEEgroup: Figs. 6.15, 6.16 left

Rainer Wolf, Biozentrum Universität Würzburg: Fig. 4.5

Fachzentrum Bienen, LWG Veitshöchheim and Helga Heilmann: Fig. 4.7. above

References:

Barth, F.G. (1982). Biologie einer Begegnung: Die Partnerschaft der Insekten und Blumen. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart

Bonner, J.T. (1993). Life cycles. Reflections of an evolutionary biologist Princeton University Press, Princeton

Camazine S, Deneubourg JL, Franks NR, Sneyd J, Theraulaz G Bonabeau E. (2001). Self-organization in biological systems Princeton University Press, Princeton Oxford

Dawkins,R. (1982). The extended phenotype. Oxford University Press, Oxford

Frisch, K von. (1965). Tanzsprache und Orientierung der Bienen Springer, Berlin Heidelberg New York

Frisch, K von, Lindauer M. (1993). Aus dem Leben der Bienen Springer, Berlin Heidelberg New York

Gadagkar, R. (1997). Survival strategies. Cooperation and conflict in animal societies. Harvard University Press, Cambridge Mass

Johnson, S. (2002). Emergence. The connected lives of ants, brains cities, and software. Simon & Schuster, New York London

Lewontin, R. (2001). The triple helix. Harvard University Press Cambridge Mass

Lindauer, M. (1975). Verständigung im Bienenstaat. G. Fischer Stuttgart

Maynard Smith JM, Szathmary E. (1995). The major transitions in evolution. Oxford University Press, Oxford

Michener, C.D. (1974). The social behavior of the bees. Belknap Press of HUP, Cambridge Mass

Moritz RFA, Southwick EE. (1992). Bees as superorganisms. An evolutionary reality. Springer, Berlin Heidelberg New York

Nitschmann J, Hüsing OJ .(2002). Lexikon der Bienenkunde. Tosa Wien

Nowottnick, C. (2004). Die Honigbiene. Die neue Brehm-Bücherei Westarp Wissenschaften, Magdeburg

Ruttner, F. (1992). Naturgeschichte der Honigbienen. Ehrenwirth München

Seeley ,TD. (1985). Honeybee ecology. Princeton University Press Princeton

Seeley, TD. (1995) .The wisdom of the hive. The social physiology of honey bee colonies.